

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Bezdrátové dobíjení akumulátorů
Wireless charging of Accumulators

Zadání bakalářské práce

Student: **Zdeněk Macháč**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2601R004 Měřicí a řídicí technika
Téma: **Bezdrátové dobíjení akumulátorů**
Wireless Charging of Accumulators

Zásady pro vypracování:

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací prototypu jednotky řízené mikrokontrolérem pro bezdrátové dobíjení akumulátorů.

V souhrnu je práce charakterizována těmito body:

1. Rešerše stávajících řešení problematiky bezdrátového dobíjení.
2. Návrh a realizace řídicího a výkonového obvodu zdrojové části.
3. Návrh a realizace řídicího a výkonového obvodu spotřebiče.
4. Provedení testů jednotek.
5. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

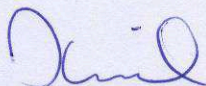
- [1] CENEK, Miroslav. *Akumulátory od principu k praxi*. Praha: FCC Public, 2003. 248 s. ISBN 80-865-3403-0.
- [2] FAKTOR, Zdeněk. *Transformátory a tlumivky pro spínané napájecí zdroje*. Praha: BEN-technická literatura, 2002. 240 s. ISBN 80-86056-91-0.
- [3] FAKTOR, Zdeněk. *Transformátory a cívky*. Praha: BEN-technická literatura, 2002. 400 s. ISBN 80-86056-49-X.
- [4] KUORILEHTO, Mauri. *Ultra-low energy wireless sensor networks in practice: theory, realization and deployment*. 1. vyd. Chichester: John Wiley, 2007. xxiii, 372 s. ISBN 978-0-470-05786-5.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

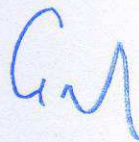
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Slanina, Ph.D.**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 07.05.2013



doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana ing. Zdeňka Slaniny.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Zdeněk Macháč
.....

Zdeněk Macháč

Datum odevzdání bakalářské práce: 7. 5. 2013

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Zdeňkovi Slaninovi Ph.D. za odborné vedení a poskytnutí cenných rad k vypracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Davidu Valovi za zapůjčení vývojových kitů a modulů od firmy NORDIC a Ing. Bohumilu Horákovi ml. za vytištění plastových jader cívek.

Abstrakt

Tato práce se zabývá souhrnem informací o bezdrátovém dobíjení a následným návrhem a konstrukcí bezdrátového vysílače a přijímače pro dobíjení malých akumulátorů. Součástí nabíječky je bezdrátová komunikace mezi nabíječkou a spotřebičem. Po nabití všech připojených baterií se nabíjecí stanice i spotřebič vypnou. Dalším závěrem tohoto projektu je i měření, které prokáže či vyvrátí teoretické předpoklady vzduchového transformátoru.

Klíčová slova

Bezdrátové nabíjení, střídač, astabilní klopný obvod, nrf24le01, výpočet cívky, NiMH baterie

Abstract

This work deals with summary information about wireless charging and subsequent design and construction of wireless transmitters and receivers for charging small batteries. The charger is a wireless communication between the charger and appliances. After charging of the connected battery charging station and turn off the appliance. Another conclusion of this project is the measurement that proves or disproves the theoretical assumptions air transformer.

Keywords

Wireless charging, inverter, astable flip circuit, nrf24le01, calculation of coil, NiMH battery

Seznam použitých zkratek a symbolů

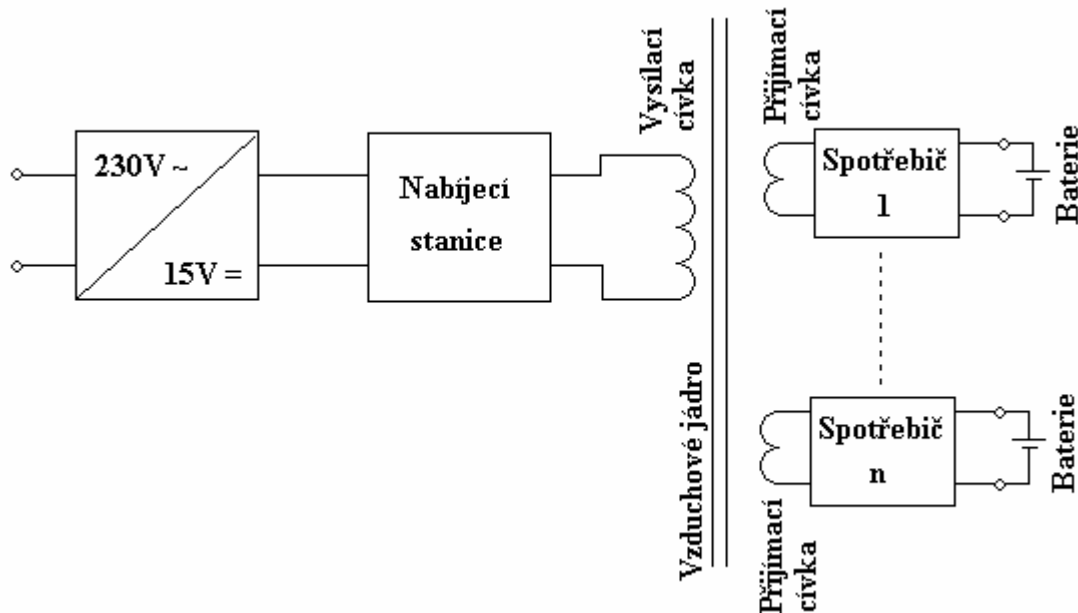
AC	Střídavé napětí, [V];
B	Magnetická indukce, [T];
C	Kapacita, [F];
D	Průměr primární cívky, [m];
D ₂	Průměr sekundární cívky, [m];
DC	Stejnoseměrné napětí, [V];
L	Indukčnost, [H];
PC	Osobní počítač;
R	Odpor, [Ω];
S	Spínač;
U	Napětí, [V];
Z	Počet závitů cívky, [-];

Obsah

1	Úvod	1
2	Rešerše stávajících řešení problematiky bezdrátového dobíjení	2
2.1	Spínané zdroje	2
2.1.1	Rozdělení spínaných zdrojů podle použití	3
2.2	Vysílací a přijímací antény	4
2.3	Řízení vysílací a přijímací části	10
2.4	Druhy akumulátorů a jejich nabíjení	11
2.4.1	Základní pojmy	12
2.4.2	Ukončení nabíjení	12
3	Návrh a realizace řídicího a výkonového obvodu zdrojové části	13
3.1	Napájecí zdroj vysílače	13
3.2	Modul pro řízení pomocí mikroprocesoru NORDIC	14
3.3	Proudové zesílení	15
3.4	Popis programu vysílací části	15
3.4.1	Funkce main	15
3.4.2	Funkce Rozdel	16
3.4.3	Funkce Zobrazovac	16
4	Návrh a realizace řídicího a výkonového obvodu spotřebiče	17
4.1	Blokové schéma návrhu přijímače	17
4.2	Napájecí část přijímače	17
4.3	Modul pro řízení pomocí mikroprocesoru NORDIC	18
4.4	Obvod řízení nabíjení	18
4.5	Popis programu přijímací části	19
4.5.1	Funkce main	19
4.5.2	Funkce Ohlaseni	21
4.5.3	Funkce timer0	21
4.5.4	Funkce ADC_data	21
5	Provedení testů jednotek	22
6	Zhodnocení dosažených výsledků	26
7	Seznam literatury	27
8	Seznam příloh	29

1 Úvod

Co to vlastně bezdrátové nabíjení je a jak funguje je docela těžké odpovědět jednoduchou odpovědí. Jedním ze základních principů, který se hojně používá, je indukční nabíjení pomocí vzduchového transformátoru. Kompletní zapojení nabíjecího procesu je pak na obr. 1.1. Hlavním rozdílem oproti standardnímu transformátoru je v tom, že jeho jádrem je vzduch nebo nemagnetický materiál jako je například plast, papír a podobně. Princip transformátoru je vcelku jednoduchý. Transformátor je tvořen dvěma cívkami navinutými na samostatných jádrech. Na vzdálenosti obou cívek od sebe závisí i účinnost celkového spojení. Tedy čím dál od sebe cívky budou, tím menší účinnost je možné od zařízení očekávat. První cívka tohoto transformátoru je buzená střídavým napětím z generátoru a tato cívka předává svou energii, reprezentovanou magnetickým tokem, druhé cívkce, která tento magnetický tok indukuje a vzniká v ní požadované indukované napětí.



obr. 1.1: Základní zapojení bezdrátového nabíjení [1]

Další důležitou částí je generátor, který je součástí nabíjecí stanice. Ten slouží jako hlavní obvod celého zařízení, který pošle nějaký signál do první cívky. Tento signál je nejčastěji sinusový nebo obdélníkový, ale může být různě tvarovaný. Důležité je, aby tento signál byl střídavý, aby se v cívkce měnil magnetický tok.

Poslední částí je spotřebič, který můžeme vidět na straně přijímače. Tento spotřebič obsahuje nejen baterie, které chceme nabít, ale i elektrický obvod, který toto přenesené napětí převede na stejnosměrné a stabilizované. Také by měl obsahovat obvod, který řídí tekoucí proud do baterie.

V této bakalářské práci je toto základní zapojení bezdrátového nabíjení rozšířeno ještě o řízení mikroprocesorem, které je jednak na straně vysílače, i na straně přijímače. Tyto mikroprocesory zaručují, že baterie nebudou zbytečně přebíjeny a tím redukuje jejich životnost.

2 Rešerše stávajících řešení problematiky bezdrátového dobíjení

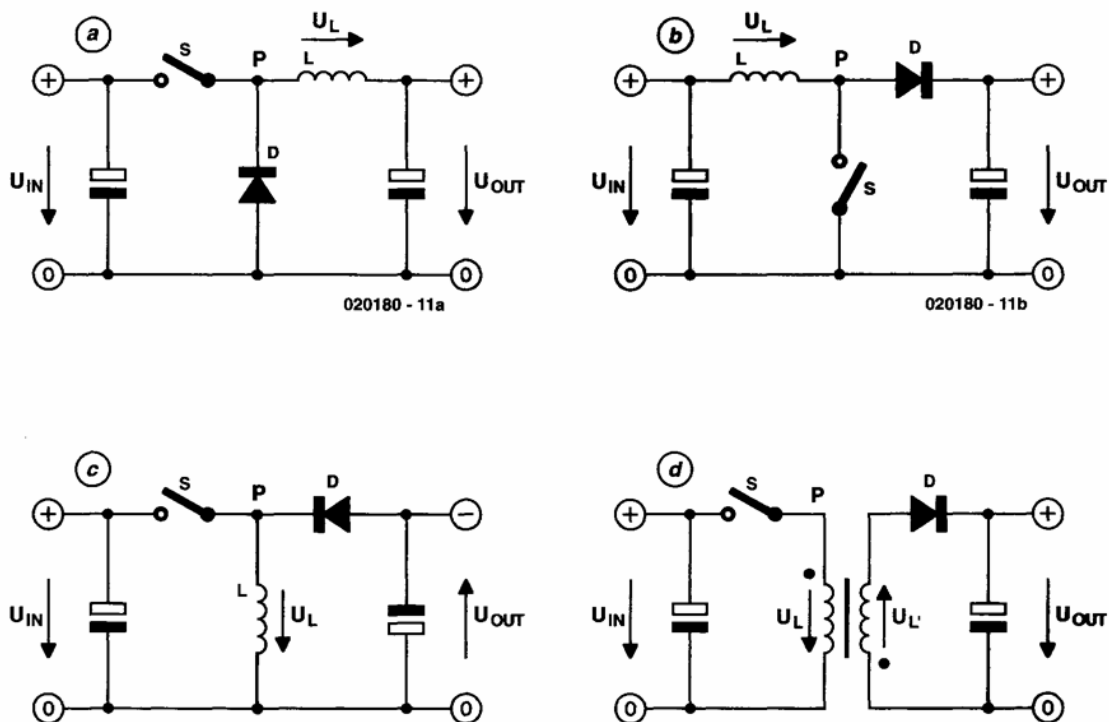
Stávající řešení bezdrátového dobíjení se potýkají s mnoha problémy. Jeden z hlavních problémů je výkon. I když už od roku 1899, kdy Nikola Tesla pracoval na teorii přenosu elektrické energie vzduchem, stále se nevyřešil problém s výkonem celé soustavy. V podstatě nejde o samotný výkon, ale spíše o účinnost těchto zařízení. Příklady se najdou v běžném životě jako např. rádiové či televizní vysílání. Za pomoci velkých výkonů radiových nebo televizních vysílačů se přenáší do našich rádií a televizí jen mizivé procento celkového výkonu nosné vlny. Problém je skryt ve vysílací a přijímací anténě. Tyto antény musí být nastaveny tak, aby přenos celé soustavy byl co nejúčinnější. Účinnost lze také zvýšit a snížit pouhou změnou vzdálenosti vysílače od přijímače. Obecně platí, že čím je přijímač blíže k vysílači, tím je účinnost stejné soustavy větší. Dalším problémem je účinnost samotného vysílače a přijímače. Jako každé zařízení i tyto mají svou účinnost, a tím udávají parametr maximální účinnosti, nad kterou již není možné se dostat i kdybychom jsme použili sebelepší antény. Jedná se o ztrátový výkon v těchto zařízeních. Otázkou je i ne příliš probádána oblast, jak působí tyto nabíječky na životní prostředí. Různým elektromagnetickým vlnám jsme vystavováni denně v podstatě celý život, ale jedná se o malé dávky, co se týče radiových a televizních vln, wifi atd. Pokud vezmeme v potaz nabíječky větších akumulátorů, tak přenášíme mnohem větší energii řádově v desítkách wattů. [2][3]

2.1 Spínané zdroje

Jedna z nejdůležitějších součástí bezdrátového nabíjení jsou bezpochyby spínané zdroje neboli měniče. Tyto měniče se rozdělují podle funkčnosti na usměrňovače, střídače, měniče frekvence, transformátory a DC-DC měniče. Každý z těchto měničů se používá na různé aplikace. Pro bezdrátové nabíjení jsou důležité střídače, které mění stejnosměrné napětí na střídavé. Toto střídavé napětí se využívá pro napájení vysílací cívky, která přenáší energii na přijímací cívky. Čím je frekvence spínaného zdroje větší, tím je i vzduchový transformátor účinnější. To ale s sebou přináší i rozhodnutí, jestli použít vysokou frekvenci a tím i dražší součástky nebo frekvenci střední, kde jsou součástky podstatně levnější, ale nedosáhneme tak velké účinnosti.[4],[7]

2.1.1 Rozdělení spínaných zdrojů podle použití

Spínané zdroje mohou výstupní napětí měnit podle potřeby. Tím je myšleno, že výstupní napětí oproti vstupnímu může být větší, menší, invertované, izolující atd. Zvyšující zdroj se používá v případech, kdy potřebujeme z baterie získat větší napětí pro napájení obvodů na větší napájecí napětí. Snižující měnič se používá hlavně v případech snížení síťového napětí na požadovanou hodnotu. Tento způsob se používá pro nabíječky baterií mobilních telefonů, nabíječky notebooků, zdrojů PC atd. Principiální zapojení je na obr. 2.1.[4],[5],[6]



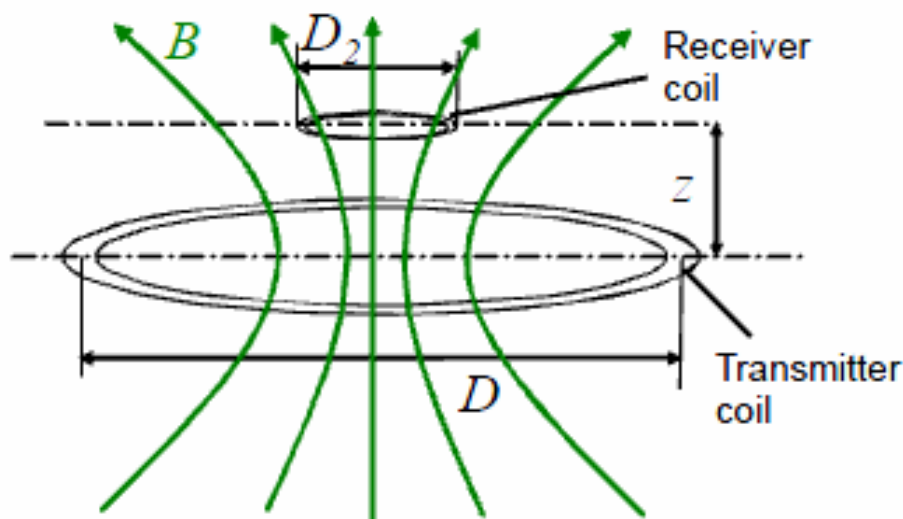
obr. 2.1: Měniče DC-DC: a) snížující, b) zvyšující, c) kombinovaný, d) blokující [5]

Základem těchto spínaných zdrojů je spínací prvek S , který spíná a rozspíná obvod, a tím se reguluje proud protékající cívkou L . Na vstupu i výstupu bývají filtrační kondenzátory, které udržují napětí na vstupu a výstupu stálé. V DC-DC měničích bývají zapojeny ještě usměrňovací diody, které usměrňují výstupní napětí. Pro bezdrátové nabíjení se nejčastěji používají AC-AC měniče, které ze síťového napětí vytvoří napětí stejně velké nebo menší, ale s mnohonásobně větším kmitočtem. Tyto měniče se hojně používají pro svou vysokou účinnost. Problém ale nastává v ceně součástek. Protože se pracuje přímo se síťovým napětím, musí být součástky na takové napětí dimenzovány. Jednodušší je síťové napětí přes transformátor zmenšit a usměrnit a pracovat s napětím stejnosměrným o cca 12V. Pro malé výkony je tento způsob několikanásobně levnější, ale nevyplatí se pro velké výkony. Další nevýhodou je účinnost, která závisí na použitém transformátoru. Ta se pohybuje okolo 60 - 95%. U malých výkonů transformátorů se můžeme bavit o účinnosti maximálně 75%. Tento způsob je použit i u této bakalářské práce. [1],[4],[5],[6]

2.2 Vysílací a přijímací antény

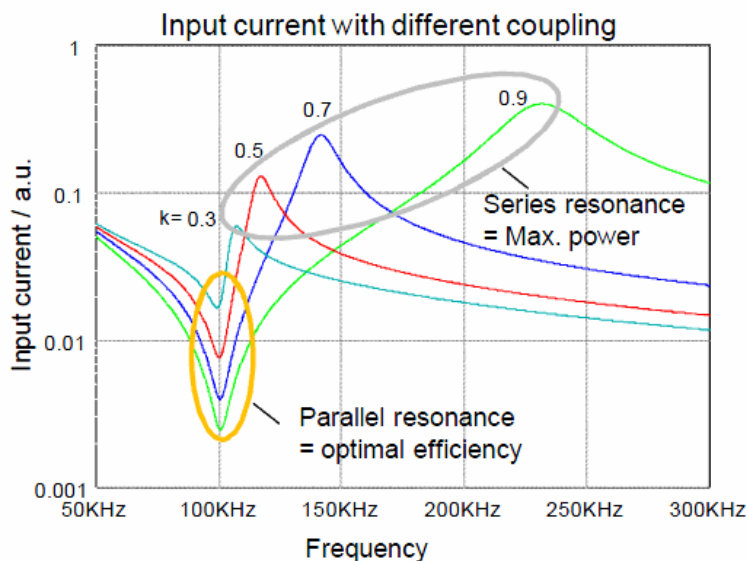
Řadu let se experimentovalo nad tvarem, velikosti a počtem antén a to jak pro vysílač tak pro přijímač. Pro bezdrátové nabíjení pro více spotřebičů se ukazuje jako nejvýhodnější více vysílačů a to proto, že magnetický tok vyzařovaný vysílačem sice putuje prostorem všemi směry, ale pro lepší účinnost je třeba aby cívky byly u sebe co nejbližší a to pro více spotřebičů možné není. Proto je třeba více vysílačů rozmístěných po celé nabíjecí ploše, aby mohly být cívky na sebe vázány co nejvíce. Antény také mají různý tvar. [9]

Jedním ze základních představ byla jedna velká vysílací cívka přes celou nabíjecí plochu. Spotřebiče pak měly přijímací cívku stejnou nebo menší. To je vidět na obr. 2.2. Hlavním principem je rezonanční obvod, který je tvořený cívkou a kondenzátorem. Tyto dva prvky jsou buď v sériové rezonanci nebo v paralelní. [9]

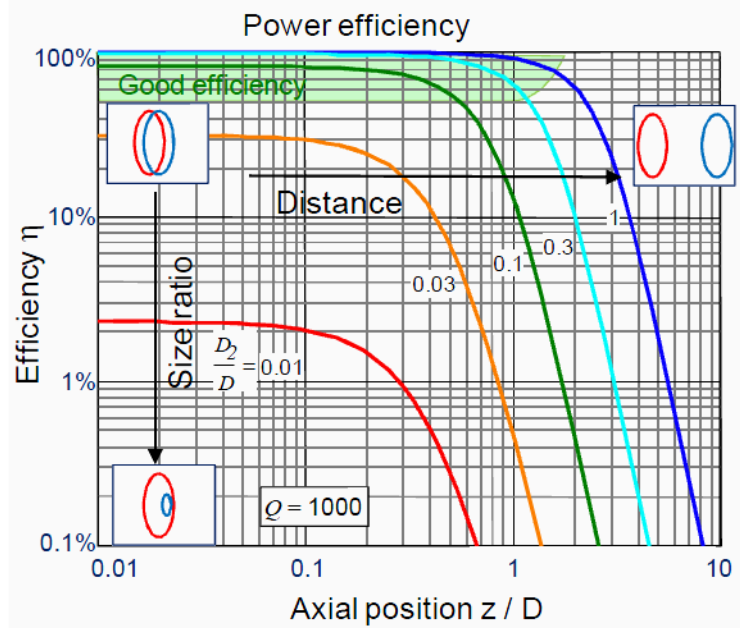


obr. 2.2: Rozmístění vysílací a přijímací cívky [9]

Na obr. 2.3 si můžeme všimnout, že sériová rezonance je sice dobrá pro přenášení velkých výkonů, ale vysílač a přijímač musí být navrženy na konstantní umístění a při malé změně polohy výkon značně klesá. To by znamenalo, že by v nabíjecí desce musely být stabilizační body, ve kterých by se dosáhlo ideálních podmínek. To ovšem není moc dobré řešení a proto se používá více paralelní rezonance, u které se dosahuje optimální účinnosti. Tato účinnost závisí také na vzájemné poloze obou cívek a také na rozdílu velikostí cívek, což si můžeme všimnout na obr. 2.4, na kterém je závislost účinnosti na vzdálenosti obou cívek a také závislost, jak se mění účinnost, když cívka pro příjem bude menší než vysílací. [9]



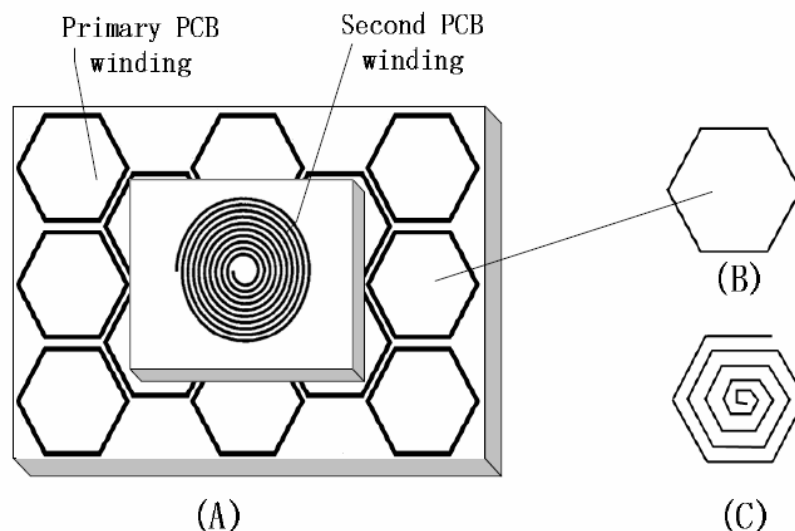
obr. 2.3: Vliv sériové a paralelní rezonance na výkon [9]



obr. 2.4: Vliv sériové a paralelní rezonance na výkon [9]

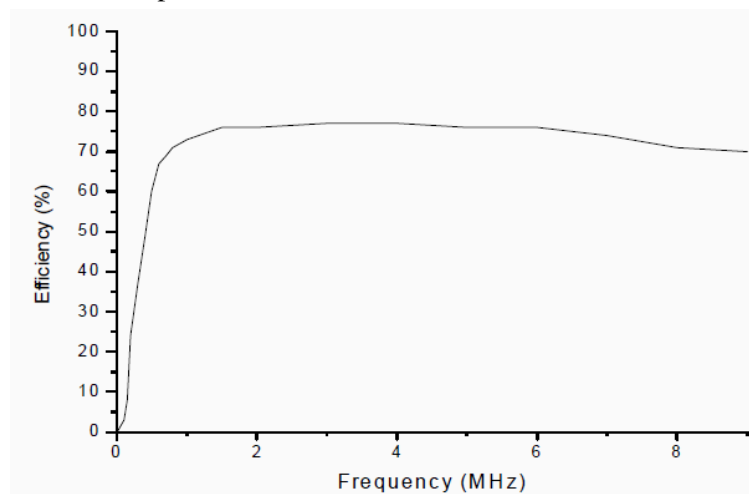
Z obou grafů můžeme vyvodit, že v ideálním případě je nejlepší použít paralelní rezonanci a to tak, že obě cívky, tedy vysílací i přijímací jsou navinuty téměř na sobě. Tento způsob ale není možné vytvořit, protože cívky musí mít mezi sebou aspoň minimální vzdálenost řádově v mm, která je tvořená izolací mezi vysílačem a přijímačem. Navíc je tento způsob nevýhodný v tom, že je možné na jeden vysílač připojit jen jeden přijímač. Tedy za předpokladu, že chceme dosáhnout co nejlepší účinnosti. Proto se začalo používat více vysílacích cívek, přičemž přijímací cívka je pouze jedna. [9]

Tuto možnost využívá dokument [10], je místo klasických kruhových cívek vytvořit cívky hexagonální (šestiúhelníkové) jako na obr. 2.5. Tyto cívky na primární straně je možné dát blíže vedle sebe a tím docílit i větší účinnosti. Transformátor tvořený odlišným primárním vinutím od sekundárního se nazývá PCB transformátor. Tento způsob se také osvědčil pro nabíjení více zařízení, protože magnetický tok je po celé desce téměř stejný, a proto je možné zařízení bez přesného umístění položit kamkoliv na nabíjecí plochu. [10]



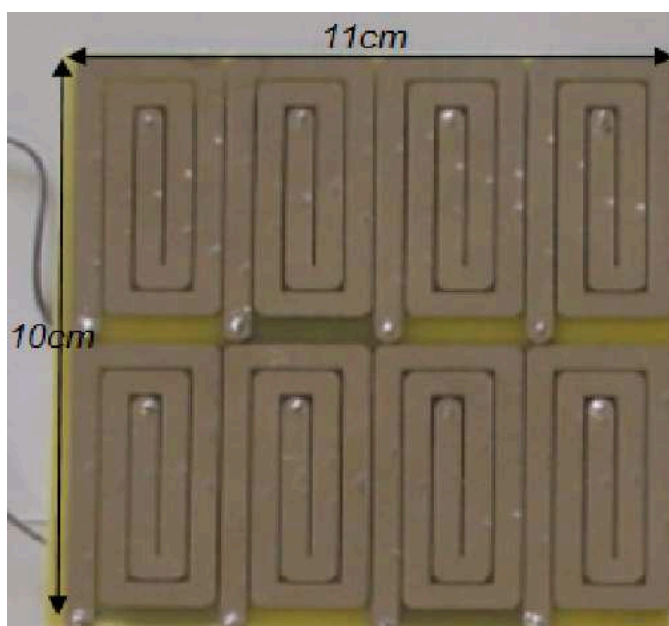
obr. 2.5: (A) Spojení primární a sekundární cívky, (B) Jedna buňka primární cívky, (C) vnitřní struktura jedné primární buňky [10]

Tento způsob je založen opět na standardních blocích jako je AC generátor, vzduchového transformátoru, usměrňovače a vyhlazovacích kondenzátorů na straně přijímače. Na obr. 2.6 je vidět efektivita, jakou lze pomocí tohoto zapojení dosáhnout. Můžeme si všimnout, že zařízení je nejefektivnější mezi 1M - 6MHz, kde dosahuje okolo 75%. Při vyšší frekvenci začne efektivita nepatrně klesat. [10]

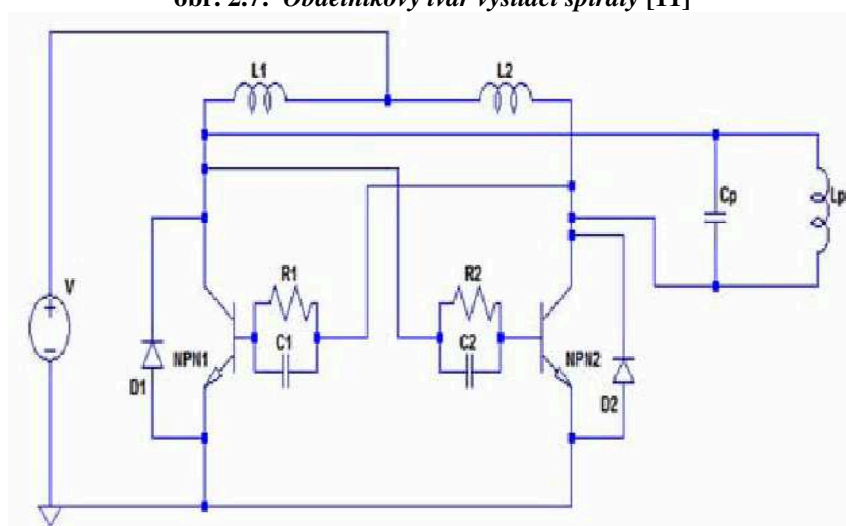


obr. 2.6: Graf efektivity PCB transformátoru [10]

Další možností vysílací spirály je na obr. 2.7, která je tvořená obdélníkovými spirálami skládané vedle sebe. Tento způsob je tvořen paralelní rezonancí mezi cívkou a kondenzátorem na primární i sekundární straně. Tento způsob nabíjení využívá tzv. Push-pull rezonančního měniče, který je schopen přepínat i při nulovém napětí bez použití regulátoru a hlavně nijak neupravuje fázi výstupního signálu, což minimalizuje spínací ztráty a náklady na implementaci. Na obr. 2.8 je tento Push-pull měnič znázorněn. Z DC napětí vytvoří AC o frekvenci okolo 65kHz. [11]



obr. 2.7: Obdélníkový tvar vysílací spirály [11]

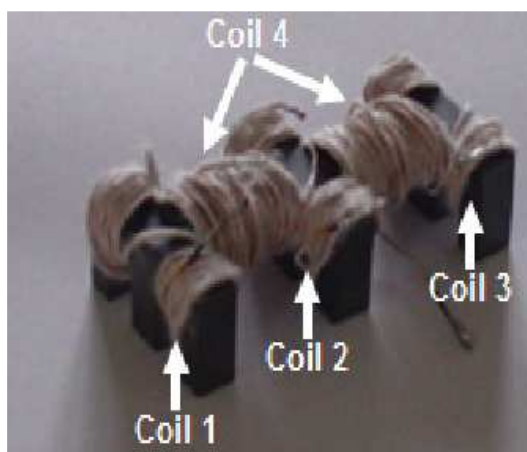


obr. 2.8: Push-pull měnič [11]

Jako sekundární vinutí bylo v experimentu použito feritové jádro na němž byly navinuty 4 cívky podle obr. 2.9, kde byly indukčnosti navrženy podle tabulky tab. 1.

Tab. 1: Indukčnosti sekundárního vinutí [11]

Cívka	Indukčnost
1	14,54 μ H
2	10,03 μ H
3	18,10 μ H
4	153,1 μ H



obr. 2.9: Sekundární vinutí [11]

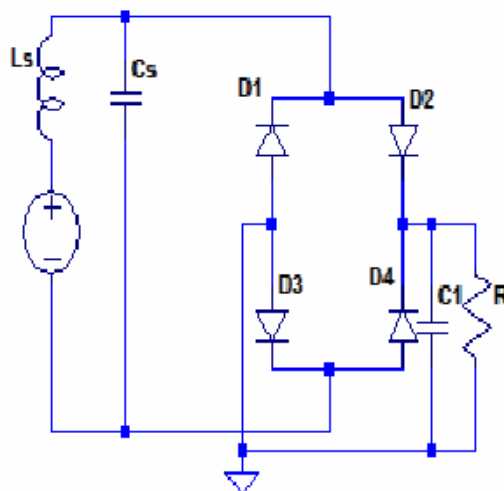
Každá z těchto cívek se musela naladit na výstupní frekvenci z vysílače pomocí kompenzačních kondenzátorů, tedy na 65kHz. Hodnoty kondenzátorů jsou uvedeny v tabulce

Tab. 2. Protože však hodnoty kondenzátorů nemají libovolnou hodnotu, ale vyrábějí se v řadách E6 a E12, byly použity hodnoty nejbližší k těmto řadám.

Tab. 2: Hodnoty kondenzátorů k sekundárním cívkám [11]

Pro cívku	Vypočítaný kondenzátor	Použitý kond.
1	4,123nF	3,3nF
2	5,977nF	6,8nF
3	3,312nF	3,3nF
4	0,392nF	0,22nF

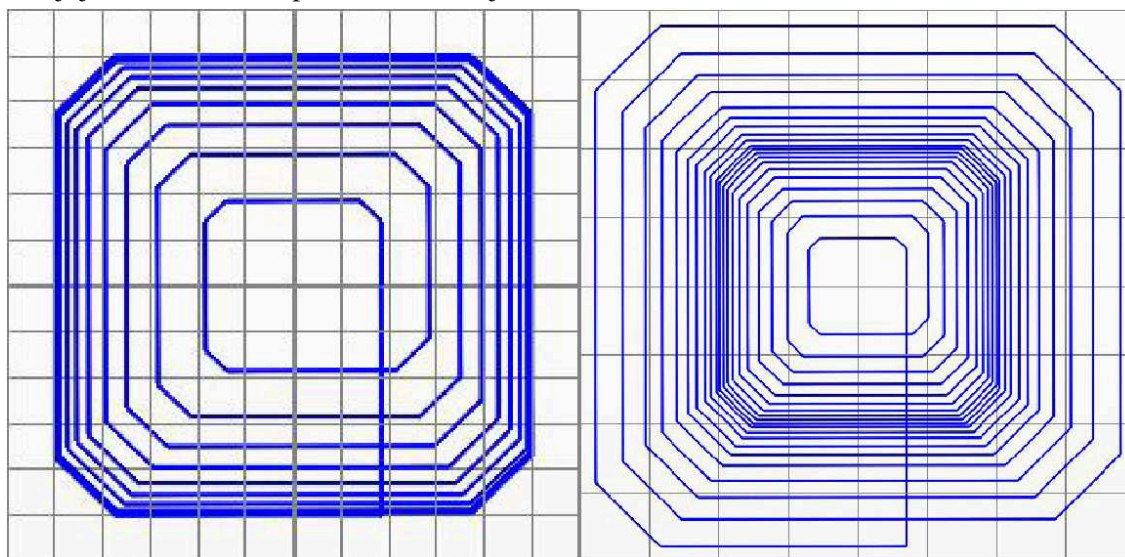
Každý z těchto rezonančních obvodů se potom připojil na svůj vlastní obvod podle obr. 2.10, který kompenzoval opačný magnetický tok tvořený ze sousedního obdélníkového vinutí primární strany.



obr. 2.10: Obvody sekundárního vinutí [11]

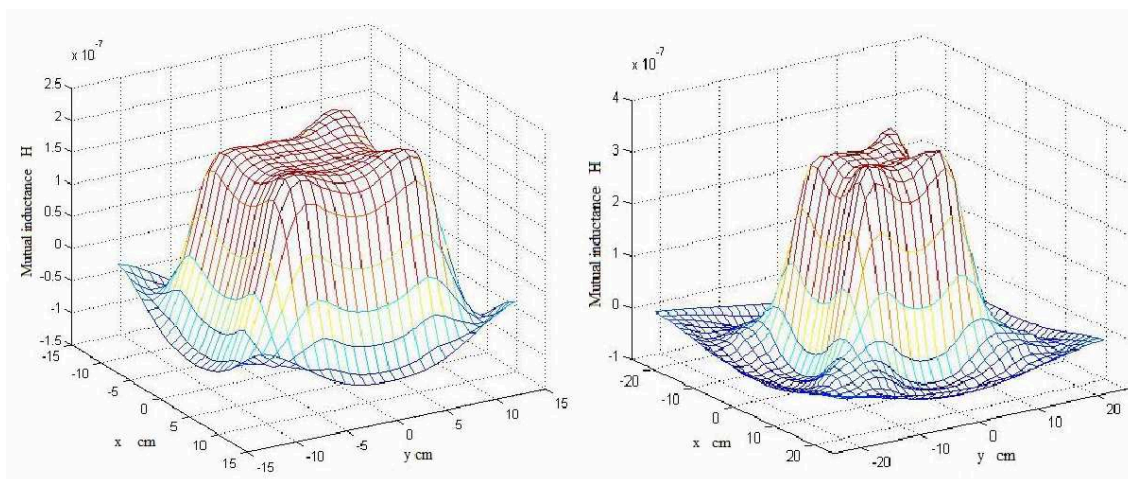
Výkon zařízení bez použití kompenzačních kondenzátorů je 10,72% a při použití těchto kondenzátorů pak výkon stoupne až o neuvěřitelných 46,08%, tedy na hodnotu 56,8%. Ve srovnání s předchozím zapojením je to sice o cca 20% méně, ale i přes tuto relativně malou účinnost nám toto zapojení dává cenné informace o ne příliš dobrém návrhu. [11]

Následující řešení je velmi podobné tomu předchozímu. Jedná se o zapojení jedné nebo dvou cívek čtvercového tvaru se skosenými úhly, viz. obr. 2.11. Cívky mají dvě odlišné struktury. Tou první je, že závity na okraji spirály je hustší než uprostřed, čemuž odpovídá varianta obrázku a), nebo je tomu právě naopak, čemuž odpovídá varianta b). Tedy že závity na okraji jsou méně husté oproti středu, kde je hustota větší.[12]



obr. 2.11: a) Hustší okraje, b) hustší střed [12]

Tomuto rozložení také odpovídá i záření magnetické indukce, která je znázorněna na obr. 2.12



obr. 2.12: a) Záření pro hustší okraje, b) hustší střed [12]

Z těchto dvou 3D grafů je možné vidět, že má každá cívka své specifické využití. Cívka a), má dobré rozložení záření, ale zase nedosahuje takové intenzity jako cívka b), která ale zase soustřeďuje téměř celé záření do svého středu. Cívka b) je tedy méně vhodná pro nabíjení více zařízení najednou, ale zase má dobré vlastnosti pro nabíjení pouze jednoho zařízení.

2.3 Řízení vysílací a přijímací části

Aby se baterie nabíjely jen když je potřeba, je zapotřebí použít vyšší logiky. Nejčastěji jsou použity mikroprocesory či jiná zařízení, které řídí nabíjecí proces. Po nabití baterie se zařízení odpojí aby nedocházelo k přebíjení baterie a tím se předchází její poškození. Nejlepší variantou je do celé soustavy vložit ještě komunikaci mezi nabíječkou a spotřebičem, aby se po nabití všech připojených baterií vypínala i samotná nabíječka. Tím nebude nabíječka zářit energii do prostoru zbytečně. Tato varianta je použita i v této bakalářské práci.

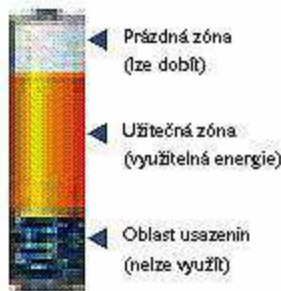
Jako vhodný mikroprocesor pro tuto aplikaci byl zvolen nRF24LE01+ od společnosti NORDIC. Mikroprocesor je založený na funkcích AT8951 od firmy ATMEL, který je rozšířen o funkce rádiové komunikace, A/D převodníku a PWM, které jsou potřebné pro tuto aplikaci. Bližší specifikace mikroprocesoru je uveden v příloze 9.

2.4 Druhy akumulátorů a jejich nabíjení

Akumulátory mají název často podle složení, ze kterého jsou vyrobeny. Mezi ty nejčastěji používané patří:

- **Li-ion a Li-pol:** Lithium polymerové (Li-poly) a lithium iontové (Li-iont) akumulátory se používají nejčastěji v mobilních aplikacích jako jsou mobilní telefony, notebooky, napájení robotů, autíček atd. Jejich přednost je v poměru mezi nízkou hmotností a vysokou energetickou hustotou.
- **Ni-Cd:** Nikl-kadmiový akumulátor má relativně nižší měrnou kapacitu. Problematickým rysem tohoto akumulátoru je jedovatost kadmia. Svými vlastnostmi se jinak podobá novějšímu NiMH akumulátoru.
- **Ni-MH:** Nikl-metal hybridový akumulátor je podobný s nikl-kadmiovým akumulátorem, ale má přibližně dvojnásobnou kapacitu. Hlavními důvody použití tohoto akumulátoru je jeho poměr mezi cenou a velikostí kapacity. Určité omezení představuje jeho napětí 1,2 V, které je nižší než napětí běžných baterií na jedno použití s 1,5 V, které může v řadě případů nahradit, ale ne vždy.

V této práci jsou použity 2x Ni-MH baterie, proto si blíže popíšeme pouze tento typ akumulátorů. Základním principem je převod chemické energie na elektrickou. Skládají se z anody, katody a elektrolytem mezi nimi. V nabitém stavu se u katody (záporný pól) shromažďují elektrony, což vytváří elektrické napětí. Pokud se na baterii připojí spotřebič, začne obvodem protékat proud, tedy elektrony se pozvolna přesouvají k anodě (kladný pól). Jakmile je většina elektronů u anody považujeme akumulátor za vybitý a je potřeba jej nabít. K tomu slouží nabíječky jako je třeba popsána v této práci. Každý takový akumulátor lze rozdělit do 3 částí jako je vyobrazeno na obr. 2.13. [19],[20],[21]



obr. 2.13: Ni-MH akumulátor [19]

Na obrázku jsou vidět 3 zóny. Prázdná zóna je část akumulátoru, která je již vybitá a nabíjením se tato oblast zmenšuje. Pokud je akumulátor nabit je tato zóna nulová. Užitečná zóna je pak kapacita akumulátoru, kterou můžeme pro svou aplikaci použít. Poslední zónou je Oblast usazenin, kterou znázorňují malé krystaly tvořící se v akumulátoru vlivem stárnutí baterie a jejím špatným zacházením při nabíjení. Při opakovaném nabití a vybití ze 100% na 0% a naopak se tato oblast usazenin dá redukovat téměř na stav nové baterie. [19],[20],[21]

2.4.1 Základní pojmy

Řekněme si tedy základní informace o akumulátorech

Asi nejpodstatnější je kapacita akumulátoru. Často se udává v mAh a znamená to, že pokud má zařízení proudový odběr 1000mA, tak nám akumulátor, na němž je napsána kapacita 1000mAh, vydrží 1 hodinu. Nebo tentýž akumulátor dokáže napájet zařízení při proudovém odběru 200mA po dobu 5 hodin.

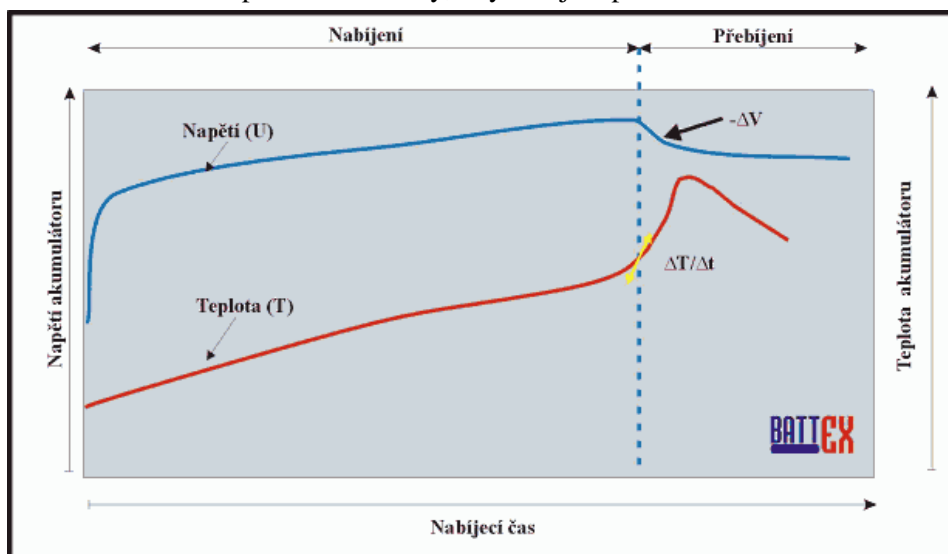
Nabíjecí a vybíjecí proud je hodnota, která nám říká, jaké proudy mohou téct akumulátorem. Udává se jako násobek C, tedy kapacity akumulátoru. Např. akumulátor o kapacitě 1000mAh je nabíjen hodnotou proudu 1C, znamená, že je nabíjen proudem 1000mA.

Důležitým pojmem je samovybíjení. To zapříčiňuje, že i když máme plně nabitý akumulátor a po delší době ho budeme chtít použít, tak nebude mít k dispozici plnou kapacitu. Tomuto efektu nelze zabránit a proto je třeba nabíjet akumulátor před použitím, abychom měli k dispozici celou kapacitu nabízenou akumulátorem.

2.4.2 Ukončení nabíjení

Nabíjení je možno ukončit různými metodami:

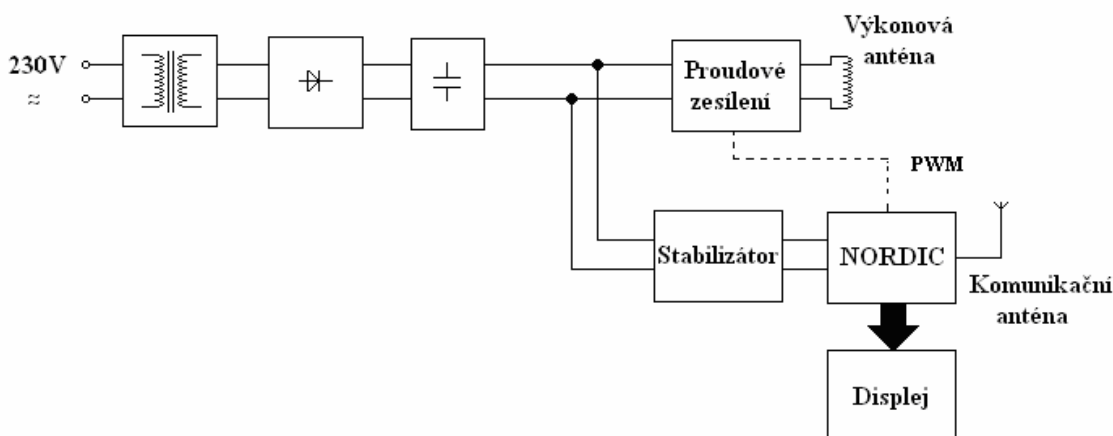
- **Časové:** Jedná se o nejjednodušší způsob. Nastaví se předem dohodnutá doba a po celou dobu je akumulátor nabíjen jmenovitým proudem. Zde se nedoporučuje nabíjet proudem větším než je 0,2C, protože se může baterie přehřát a explodovat.
- **Teplotní:** Podstatou je hlídání teploty akumulátoru a to buď na předem nastavenou nebo na pokles teploty při nabíjení. viz. obr.2.14.
- **Napětíové:** Zde je možné napětí předem nastavit nebo se hlídá pokles napětí při nabíjení zřetelný na obr. 2.14. Doporučený nabíjecí proud 0,5C - 2C
- **„CCCV“:** Metoda používaná u lithiových akumulátorů. Jedná se o nabíjení konstantním proudem a po dosažení předem stanoveného napětí se začne nabíjet konstantním napětím až do doby, kdy nabíjecí proud klesne na určitou hranici. [20]



obr. 2.14: průběh nabíjení Ni-MH akumulátor [21]

3 Návrh a realizace řídicího a výkonového obvodu zdrojové části.

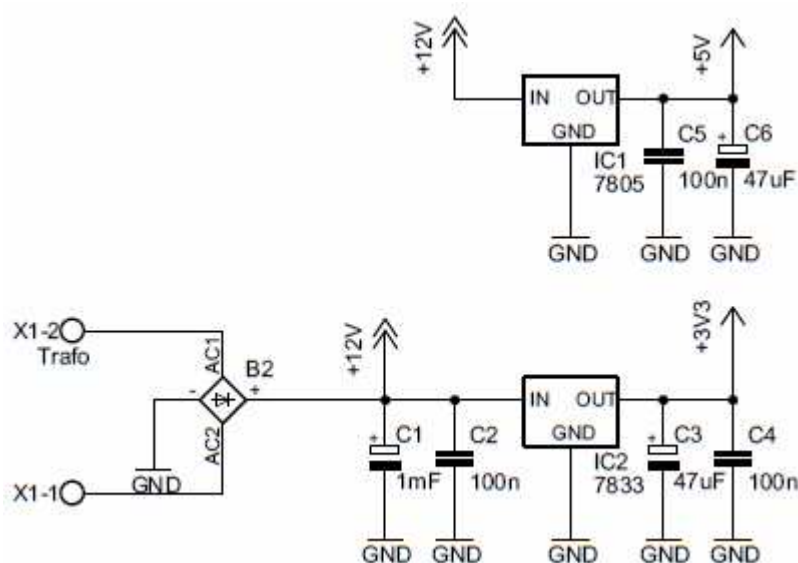
Zařízení je napájeno ze síťového napětí, tedy 230V/50Hz střídavých. Toto napětí je přes transformátor sníženo a přes usměrňovací můstek na konečných 15V stejnosměrného napětí. Zde se tato napájecí větev rozděluje na napájení vysílače, tedy výkonové části a na napájení mikroprocesoru pro řízení celé nabíječky. Součástí výkonové větve je proudové zesílení a vysílací cívky (vysílací antény). Napětí řídicí části je stabilizováno na potřebné napětí 3,3V. Kromě samotného mikroprocesoru je součástí řídicí části displej, který zobrazuje počet připojených spotřebičů a dále pak komunikační anténa, která je na plošném spoji. Jako generátor je použit PWM přímo z mikroprocesoru, který je nastavený na maximální kmitočet 258,1kHz. Blokové schéma je vidět na obr. 3.1. Celé schéma je uvedeno v příloze 1 a v příloze 2 je pak DPS.



obr. 3.1: Blokové schéma vysílací části

3.1 Napájecí zdroj vysílače

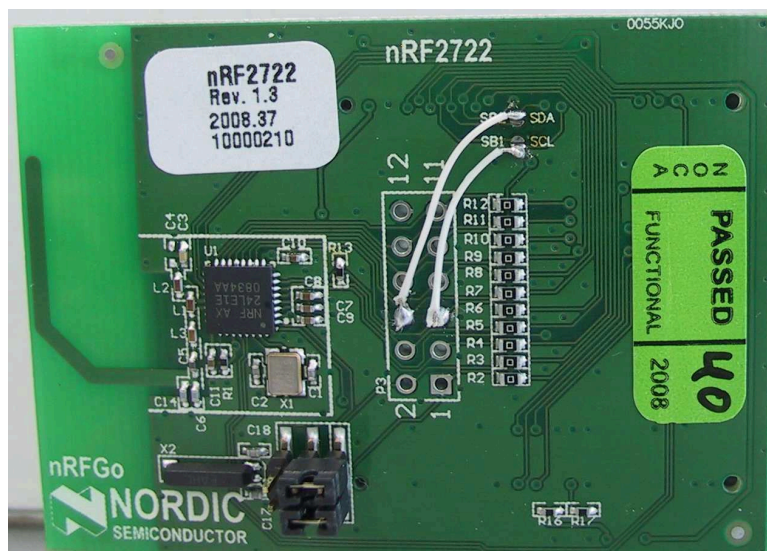
Jak již bylo řečeno, tak napájecí zdroj tvoří standardní částí napájecího zdroje, tedy transformátor, který sníží napětí, usměrňovač usměrní střídavé napětí na stejnosměrné a filtrace napětí složená z kondenzátorů 1mF a 100nF. 100nF kondenzátor filtruje případné rušivé vlivy a 1mF podrží napětí při dočasném poklesu nebo přepětí napájení. Usměrněné napětí 15V je dále použité na napájení výkonové části a pro vstup na stabilizátor pro mikroprocesor. Na obr. 3.2 je toto zapojení vidět. Jak již bylo řečeno transformátor má na primární straně síťové napětí, tedy 230V a na výstupu je 12V/1A střídavých. Transformátor je umístěn do adaptéru zasouvajícího se do přímo do zásuvky.



obr. 3.2: Nápadecí zdroj vysílače

3.2 Modul pro řízení pomocí mikroprocesoru NORDIC

Vysílač je řízen pomocí mikroprocesoru nRF24LE01+ od firmy NORDIC, který je zapojen podle obr. 3.3, a je ve formě modulu, který je na univerzálním plošném spoji stejném pro vysílač i přijímač. Tyto moduly mezi sebou komunikují pomocí rádiových vln na frekvenci 2,4GHz. Pro usnadnění práce byly tyto moduly pro přijímač i vysílač zakoupeny od firmy NORDIC pod názvem nRF2720. Tyto moduly používají rádiovou komunikaci pomocí vestavěných anténách. K dispozici mají porty P0 – P3, které mají A/D převodníky, PWM modulace a další funkce. Pro vysílač je zapojen port P0 pro komunikaci s displejem a PWM pro vysílací cívku nastavené na 258,1kHz. [14],[15],[16]



obr. 3.3: Modul pro mikroprocesor

3.3 Proudové zesílení

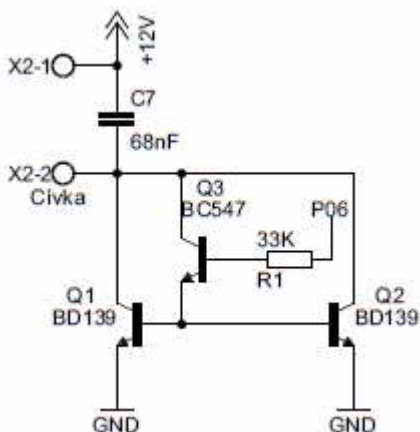
Proudové zesílení je tvořeno Darlingtonovým zapojením dvou tranzistorů podle obr. 3.4. 2xBD139 byly zapojeny paralelně z důvodu lepšího odvodu tepla do chladiče, protože si oba tranzistory rozdělili proud na cca polovinu. PWM je přivedeno z mikroprocesoru přes odpor 33k na bázi tranzistoru BC547. Ten se přerušovaně otevírá a uzavírá a tím otevírá dvojici tranzistorů BD139. Celkový proud odebíraný touto částí je nastaven pomocí bázevých odporů na 0.4A. Pro získání lepší účinnosti je k cívce zapojen paralelně kondenzátor 68nF, který vytváří spolu s cívkou rezonanční obvod podle vztahu:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Kde: f_0 je rezonanční frekvence

L je indukčnost cívky

C je kapacita kondenzátoru



obr. 3.4: Zapojení proudového zesílení

3.4 Popis programu vysílací částí

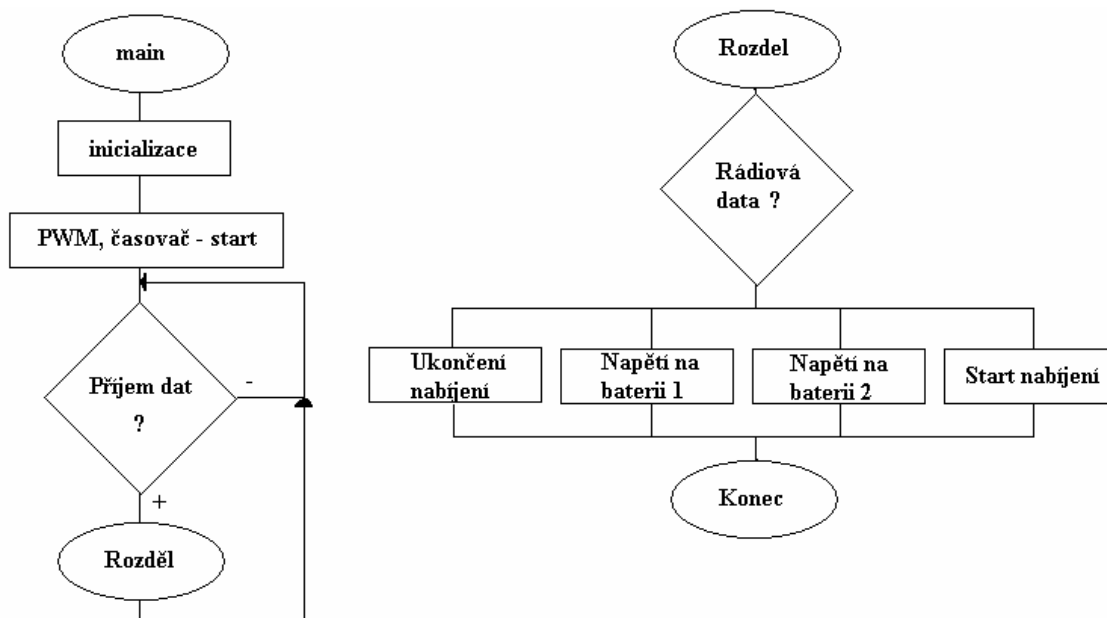
Program se skládá z dílčích částí, které se starají o celkový běh programu. Program je vytvořen v programovacím prostředí Keil uVision4, který se používá pro mikroprocesory Atmel. Postup jak nainstalovat a nakonfigurovat programovací prostředí je uveden v příloze 10. V příloze 5 taky možné nahlédnout celý program pro nabíječku.

3.4.1 Funkce main

Tato funkce je nejdůležitější pro běh programu a je možno ji vidět na obr. 3.5. Při startu mikroprocesoru se provede nastavení potrů, PWM a LCD displeje. Poté se spustí PWM a časovač, který vypne PWM po 10 minutách, pokud se nepřipojí k nabíječce nějaký spotřebič. Dále již následuje nekonečná smyčka, ve které se čeká na příjem dat přes rádiovou komunikaci. Pokud dojde k příjmu dat, rozdělí se tyto data podle toho od jakého zařízení data přišla. O toto rozdělení se stará funkce Rozdel, která je popsána v další kapitole.

3.4.2 Funkce Rozdel

Tato funkce slouží k rozdělení přijatých dat od spotřebiče X. V přijatém balíčku dat je informace o tom, v jakém stavu jsou baterie ve spotřebiči. Buď jsou nabity, nebo je třeba je ještě nabíjet, obr. 3.5.



obr. 3.5: a) Funkce main, b) Funkce Rozdel

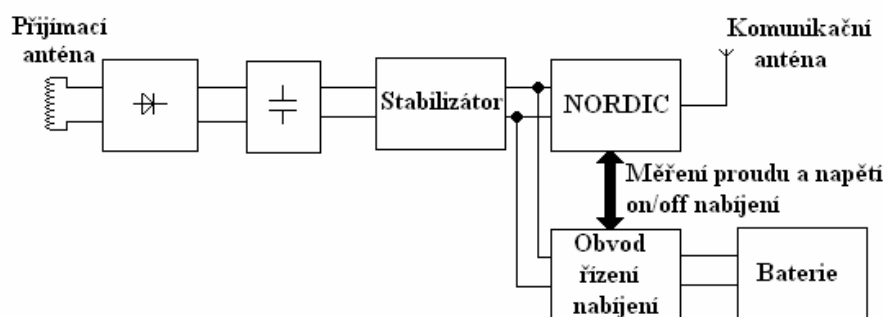
3.4.3 Funkce Zobrazovac

Tato funkce slouží pro zobrazení připojených zařízení k nabíječce a zobrazení napětí na bateriích.

4 Návrh a realizace řídicího a výkonového obvodu spotřebiče

4.1 Blokové schéma návrhu přijímače

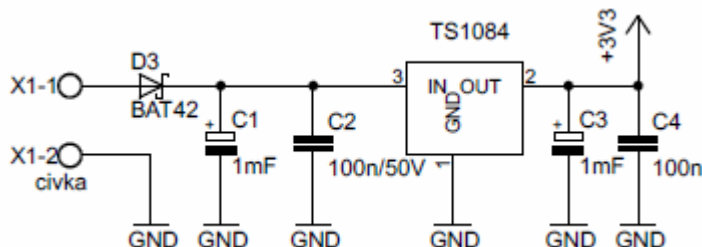
Spotřebič je navržen pro nabíjení dvou AA baterií o nabíjecím proudu 0,125A na každou baterii. Obvod přijímače je napájen pouze z bezdrátového nabíjení. Tedy když se dostane do dosahu vysílače, tak mikroprocesor NORDIC provede své úvodní instrukce a přihlásí se vysílači, jestli chce nebo nechce být nabíjen. Podle toho se zpustí nabíjení. Bloky přijímače se skládají z přijímací antény, která přijme energii od vysílací antény, usměrnění napětí pomocí rychlé usměrňovací diody a jeho filtrace přes filtrační kondenzátory. Dalším blokem je DC/DC měnič, který vytvoří napájecí napětí nejen pro mikroprocesor, ale taky pro nabíjení baterií. Toto napětí je stabilizováno na 3,3V. O nabíjení baterií rozhoduje mikroprocesor, který zapíná a vypíná nabíjení na jednotlivých bateriích, ale také měří napětí na nich. Na obr. 4.1 je potom blokové schéma přijímače. Celé schéma je uvedeno v příloze 3 a v příloze 4 je DPS.



obr. 4.1: Blokové schéma přijímače

4.2 Napájecí část přijímače

Na svorky X1-1 a X1-2 se připojí přijímací anténa, která střádá energii od vysílače. Tato naindukovaná energie ve formě napětí se pak usměrní přes usměrňovací diodu, odfiltruje přes filtrovací kondenzátory a stabilizuje na hodnotu 3,3V přes stabilizátor napětí. Za stabilizátorem jsou ještě kondenzátory, které napomáhají uchovat stabilizované napětí na hodnotě 3,3V i při změně odebíraného proudu. Toto napětí je pak použito pro napájení mikropočítače a nabíjení baterií. Schéma je na obr. 4.2



obr. 4.2: Schéma zdroje přijímače

4.3 Modul pro řízení pomocí mikroprocesoru NORDIC

Pro spotřebič byl použit stejný modul jako v kapitole 3.3. Rozdíl je v použití nástrojů, které mikroprocesor má. Ve spotřebiči je použit A/D převodník pro naměření napětí baterií, časovač pro získání osmihodinového cyklu pro dobu nabíjení a rádiová komunikace. Port P0 je zapojen následujícím způsobem. P0 a P4 se měří napětí na bateriích. Při měření napětí je třeba odpojit nabíjení, aby se naměřila skutečná hodnota napětí na bateriích, o což se starají piny P01 a P05, který řídí přes výkonové tranzistory nabíjecí proces. Pin P03 je napěťová reference pro A/D převodník, která je potřebná pro maximální rozsah měřeného napětí 1,4V. Posledními dvěma piny jsou piny P02 a P06. Na těchto pinech jsou připojeny diody, které informují uživatele o tom, v jakém stavu je nabíjení baterií. Tedy pokud diody nesvítí, tak jsou baterie nabíjeny. V opačném případě signalizují diody úplné nabití a pokud diody blikají, znázorňuje to stav, kdy je baterie poškozená, nebo není v zařízení vůbec zapojena. Pokud je některá z baterií nabitá, nebo poškozená, tak ji mikroprocesor nenabíjí a ignoruje ji až do restartu mikroprocesoru, který může uživatel použít pomocí tlačítka S1.

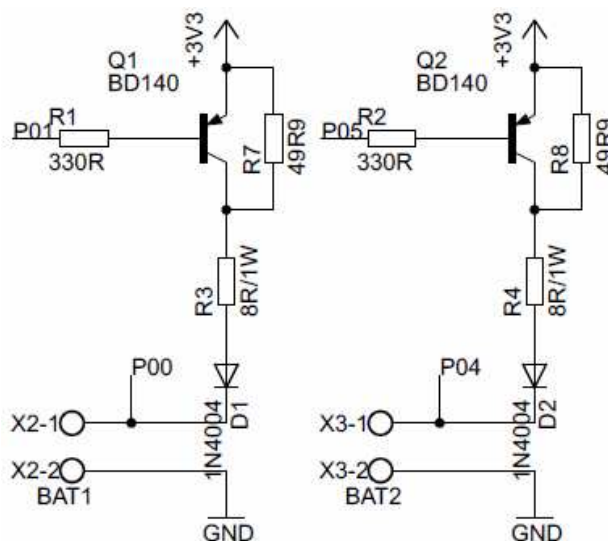
4.4 Obvod řízení nabíjení

Obvod řízení nabíjení je tvořen jednoduchým zapojením tranzistorů, diod a odporů podle obr. 4.3. Princip tohoto zapojení je jednoduchý. Pokud se na P01 respektive P05 přivede logická 0, tak 1. respektive 2. nabíjecí větví začne procházet nabíjecí proud. Pokud je na tomto vstupu logická 1, nabíjecími větvemi prochází jen udržovací proud přes odpory R7 a R8, který se rovná cca samovolnému vybíjení akumulátorů. Nabíjecí proud se pak spočítá podle následující rovnice.

$$\frac{U_{CC} - U_{EC} - U_D - U_{BAT}}{I_{Nab}} = \frac{3.3 - 0.2 - 0.8 - 1.3}{0.125} = 8\Omega$$

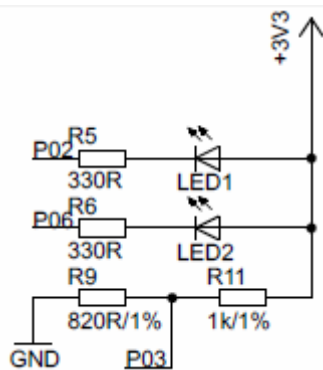
Kde: U_{CC} je napájecí napětí 3.3V [V]
 U_{EC} je napětí na transformátoru [V]
 U_D je napětí na diodě [V]
 U_{BAT} je napětí akumulátoru [V]
 I_{nab} je nabíjecí proud [A]

Tranzistory Q1 respektive Q2 slouží pro nabíjení akumulátoru a pokud se na bázi přivede logická 0, jsou tyto tranzistory otevřeny a úbytek napětí na těchto prvcích je cca 0,2V. Odpory R3 a R4 mají funkci nastavení nabíjecího proudu na 0,125A. Pro tuto aplikaci byly zvoleny odpory na 1W, i když na nich tento výkon nebude. Odpory R7 a R8 jsou v zapojení pro případ, že se nenabíjí baterie. Těmito odpory pak protéká jen udržovací proud, který se pohybuje okolo 10mA. Poslední součástí jsou diody, které jsou ochranné proti přepólování baterií a samovolnému vybíjení baterií do obvodu. [18]



obr. 4.3: Schéma obvodu řízení napájení

Signalizace nabíjení je zastoupena zapojením podle obr. 4.4.



obr. 4.4: Schéma signalizace a napět'ové reference

Jedná se o zapojení diod s předradným odporem. Za ovládání těchto diod je odpovědný mikroprocesor. Funkci těchto diod je popsán v kapitole 4.3. V dolní části schématu je pomocí dvou odporů vytvořená napět'ová reference sloužící pro A/D převodník.

4.5 Popis programu přijímací části

Program se skládá z dílčích částí, které se starají o celkový běh programu. Celý program je pak možno vidět v příloze 6.

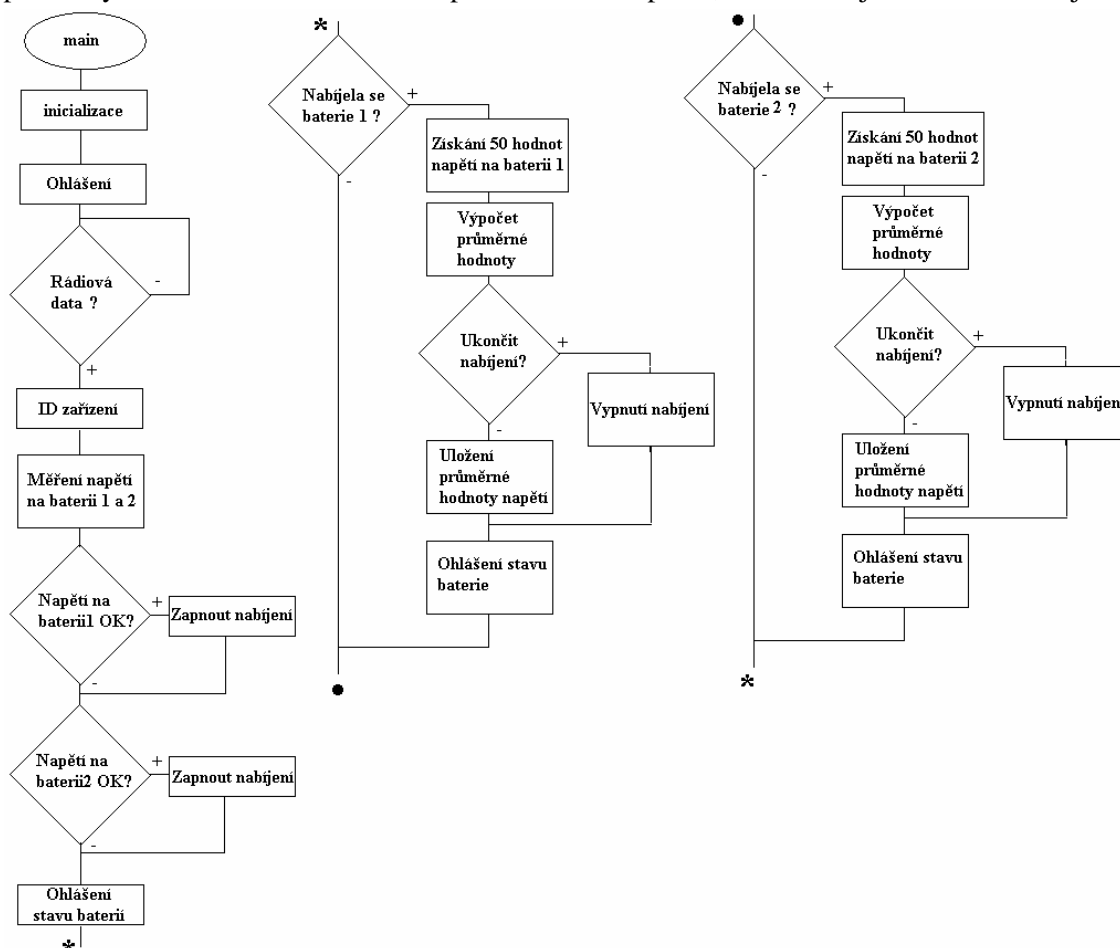
4.5.1 Funkce main

Funkce main je podle schématu na obr. 4.5. složená ze dvou částí.

1. část je nastavení a celková inicializace mikroprocesoru. Na začátku se deklarují proměnné pro tuhle funkci a následně se inicializují porty a další funkce pro tuto aplikaci. Následně se nahlásí nabíjecí stanici a vyžaduje od ní ID, kterým se následně bude nabíjecí stanici hlásit. Po přijetí ID se naměří napětí na obou bateriích a rozhodne se jestli jsou baterie připraveny na nabíjení. Pokud ano nabíjí se a pokud ne začne blikat příslušná dioda, která

signalizuje poškození či absenci baterie. Následně se odešle nabíjecí stanici informace o stavu obou baterií.

2. část je pak nekonečná smyčka, která se vykonává až do ukončení nabíjecího procesu. Baterie jsou nabíjeny po dobu 2s a po uplynutí této doby se nabíjení na cca 0,02s vypne střídavě na každé baterce. Když byla baterie nabíjená naměřil se na ní napětí 50x a poté se vypočte průměrná hodnota napětí na této baterii. 50 hodnot je dostačující k tomu, aby se zamezilo drobným odchylkám v měření napětí. Po získání průměrné hodnoty se rozhoduje, jestli je už baterie nabitá, či nikoliv. To se vyhodnocuje pomocí úbytku napětí na baterii. Pokud napětí stoupalo a teď kleslo o 5mV, znamená to, že je baterie nabitá. Průběh nabíjení NIMH baterie je popsán v kapitole 2.5.2. Poté se pošle napětí na baterii nabíjecí stanici, která ji pak zobrazí na displeji. Tento proces se provede i u 2. baterie a následně se pokračuje 2s nabíjením a tak pořad dokola dokud nejsou obě baterie nabitý nebo pokud neuplyne interval 8 hodin. Pokud nabíjecí proces byl ukončen na obou bateriích pošle se stanici zpráva, že zařízení již není třeba nabíjet.



obr. 4.5: Schéma funkce main

4.5.2 Funkce Ohlaseň

Funkce Ohlaseň slouží pro odesílání zpráv nabíjecí stanici. Má dva parametry DC a hodnota, které slouží k rozlišení jednotlivých zpráv. DC je proměnná, která určuje, jestli se jedná o instrukci nebo data. Pokud je DC 1 nebo 2, jedná se o odeslání hodnoty napětí na baterii 1 nebo baterii 2. Pokud je DC = 0 jedná se o instrukci o ukončení nabíjení. Pokud hodnota DC je rovná 3, žádá mikroprocesor od nabíjecí stanice ID, kterým se bude této stanici hlásit. Po rozlišení se odešle příslušná zpráva.

4.5.3 Funkce timer0

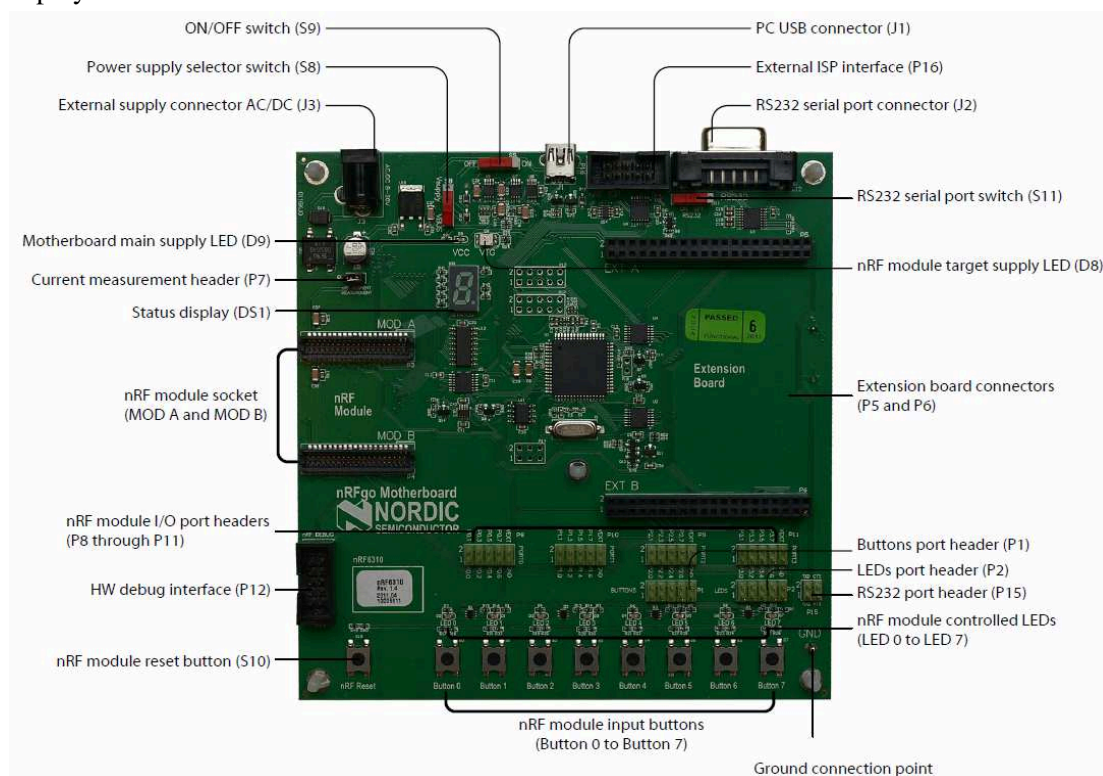
Tato funkce odpočítává dobu cca 8 hodin a pak nabíjení ukončí a ohlásí nabíjecí stanici, že jsou baterie nabity.

4.5.4 Funkce ADC_data

Funkce pouze převede dvě 8-mi bitová čísla z A/D převodníku na 16-ti bitové.

5 Provedení testů jednotek.

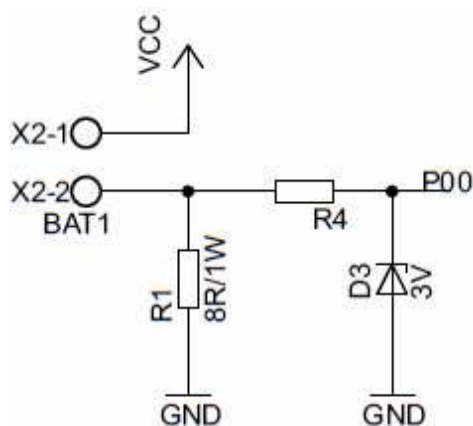
Pokusy o bezdrátovou komunikaci a přenesení energie vzduchem se prováděly na vývojových kitech nRF6310, do kterých se zasouvaly moduly nRF2720. Vývojový kit slouží jako programátor pro moduly a zároveň jako testovací prostředí. K dispozici jsou 8x LED diody, 8x tlačítka, sériová linka, LCD displej atd. Více na obr. 5.1. Zásuvné moduly nRF2720 byly ovšem v průběhu testování zničeny, a proto musely být některé testy zhotoveny pomocí jiných zařízení. Místo PWM signálu z mikroprocesoru, byl použit generátor obdélníkového signálu o stejné frekvenci. Modul spotřebiče byl pak testován pomocí mikroprocesoru ATtiny13 od firmy ATMEL. Důvody vedoucí k zničení modulu nebyly zcela objasněny, ale naskýtá se pár možností vysvětlení. Moduly pracují s napětím 3,2V a pokud se toto napájecí napětí vypne, nesmí přesáhnout napětí na ostatních pinech 0,3V. Napětí na měřících pinech činila 1,2V, a to zapříčinilo zničení modulu spotřebiče. Modul pro nabíječku nevydržel soustavnou funkci PWM a čip byl zničen.



obr. 5.1: Vývojový kit

Testování ukázalo následující poznatky. Pro aplikace tohoto typu je vhodné mikroprocesor nebo alespoň I/O piny chránit před poškozením. Jednou z možností je galvanické oddělení např. optočlenem. Také je lepší použít zapojení spotřebiče podle obr. 5.2, protože se napětí baterie nedostane na vstupní piny mikroprocesoru. Také u tohoto zapojení není třeba použít stabilizátoru, protože akumulátory jsou tvrdé zdroje oproti bezdrátovému dobíjení a dokážou si napětí udržovat okolo své jmenovité hodnoty. Na pin P00 se připojí A/D převodník mikroprocesoru, který provádí měření napětí respektive proudu procházející tímto odporem.

K tomuto pinu je pak paralelně připojená zenerova dioda, aby nedošlo k přepětí na vstupním pinu mikroprocesoru.



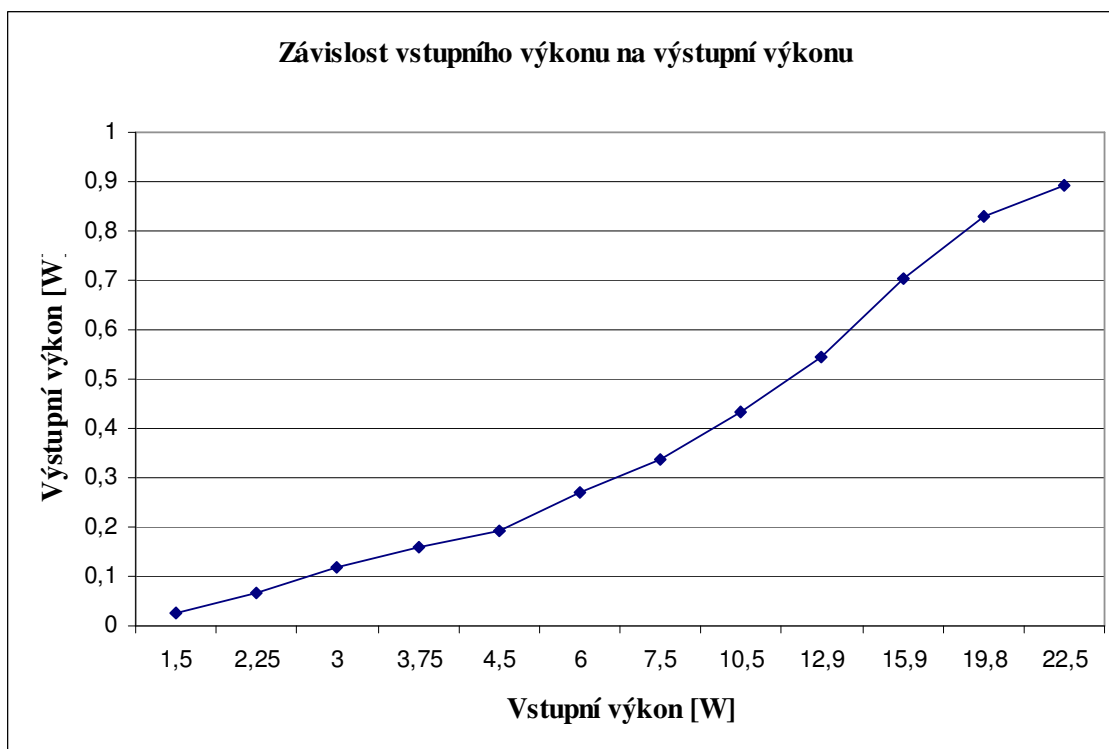
obr. 5.2: Schéma spotřebiče

Pro účely testů bylo navinuto několik cívek různých rozměrů a ukázalo se, že ne všechny kombinace jsou správné pro přenos energie. Samozřejmě energii přenášely všechny, ale jejich účinnost byla mizivá. Pokud nabíjíme jedno zařízení, je pro lepší účinnost užitečnější použít cívky o stejném nebo velmi podobném rozměru a tvaru. Původní představa byla, že primární cívka bude cca 2x větší, aby se na ní vešlo více spotřebičů, ale toto řešení bylo špatné, protože účinnost tohoto zapojení byla pod 1%. Obě cívky měly stejnou indukčnost 390uH a byl k nim tedy paralelně připojen kondenzátor 1nF. Další cívky byla navinuty na podobný průměr a měla hodnotu 150uH a 38uH. Toto spojení se dostalo s účinností lehce nad 1%, ale pořád to nebylo alespoň uspokojivé. Všechny cívky byly mezi sebou prozkoušeny a nejlepším řešením se stala kombinace cívek 5uH, co by na straně primární a 100uH na straně sekundární.

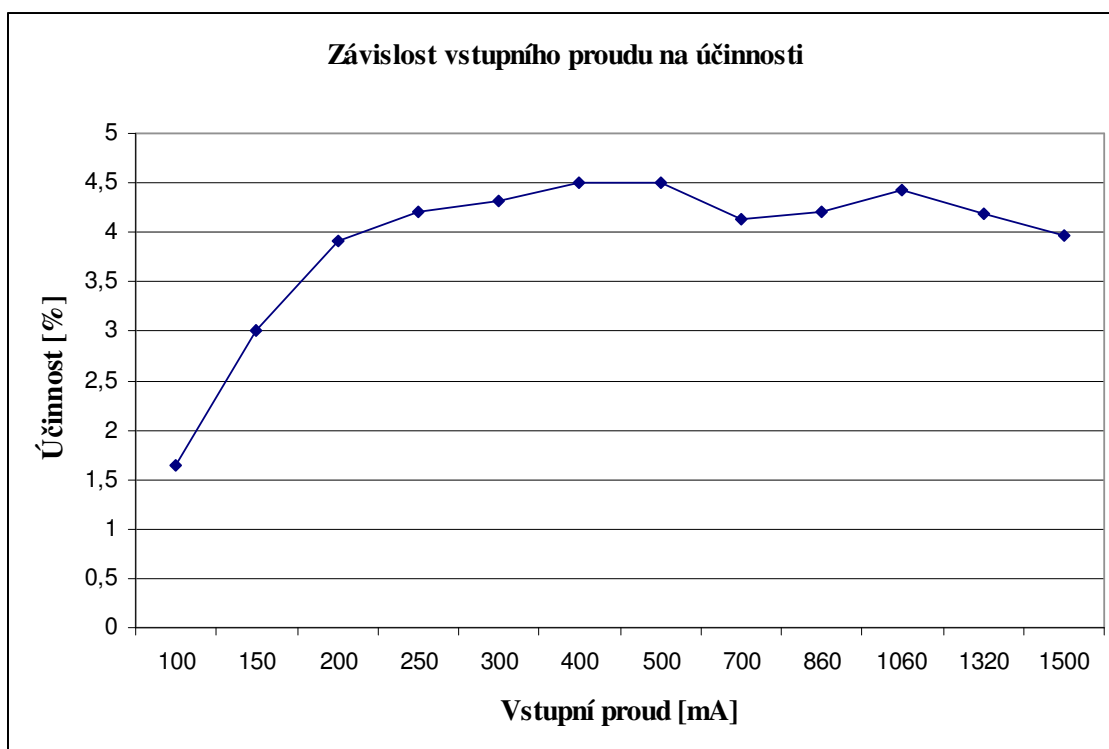
Byly provedeny celkem tři testy přenosu energie. Naměřené hodnoty těchto měření je pak v příloze 11. Prvním je nastavování primárního proudu a odečítání výstupních hodnot. Pro lepší znázornění byly proudy a napětí přepočítány na výkony a jsou k nahlédnutí na obr. 5.3. Dalším grafem je na obr. 5.4 zobrazena závislost vstupního proudu na účinnosti celé soustavy.

Následující měření ukazuje, jak se mění výkon přijaté energie v závislosti na posunutí cívky do strany. Výsledek měření je na obr. 5.5. Při měření byla primární strana držena na 15V a 0,52A, tedy na výkon 7,8W a byly odečítány hodnoty na sekundární straně.

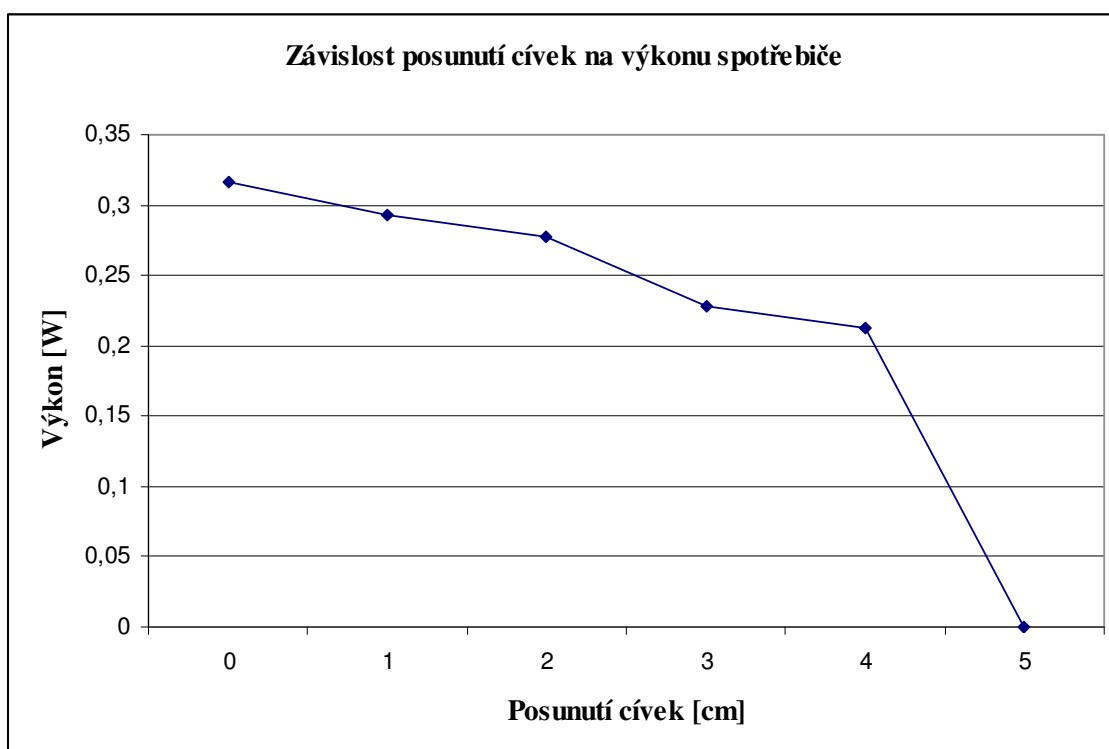
Posledním měření byla závislost vstupní frekvence na výkon spotřebiče vyobrazená na obr. 5.6. Nastavení primární strany bylo stejné jako u předchozího měření tedy 15V a 0,52A. U toho to měření už ale nebyly použity rezonanční kondenzátory a výkon se pak pohyboval pod 0,5%. Výsledek tohoto měření je ovšem pouze orientační, protože tranzistory BD139 nepracují při vyšších frekvencích tak účinně, jako jiné vysokofrekvenční prvky.



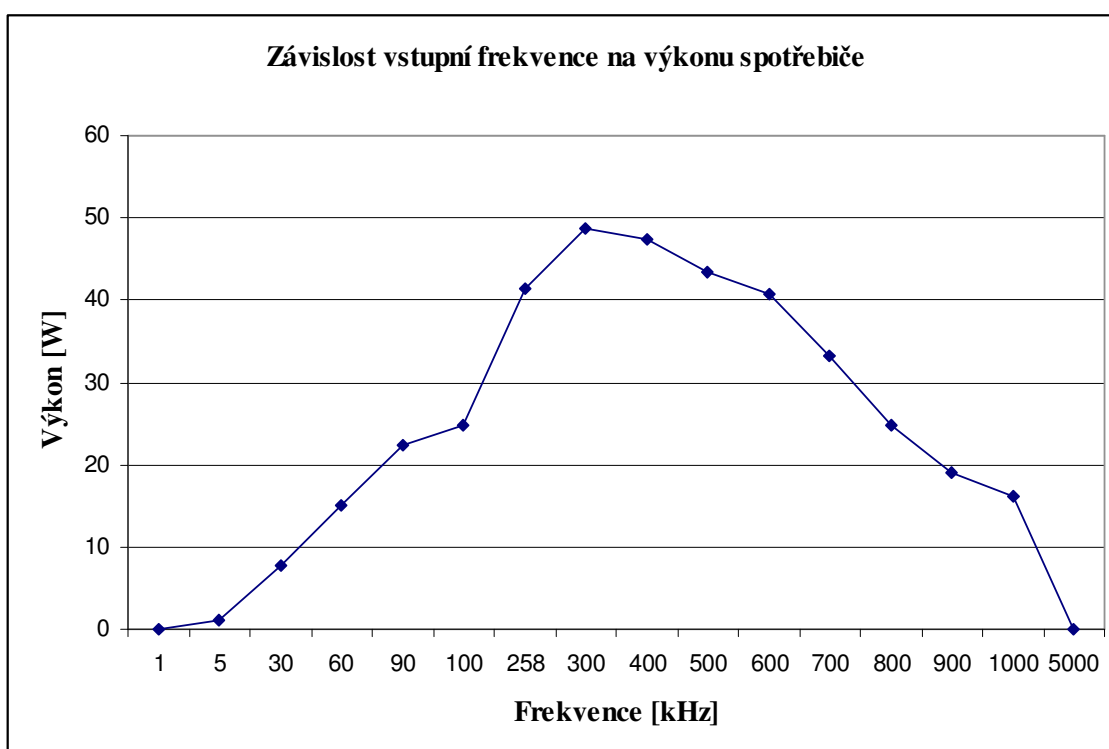
obr. 5.3: Graf závislosti vstupního výkonu na výstupním



obr. 5.4: Graf závislosti vstupního proudu na účinnosti celé soustavy



obr. 5.5: Graf závislosti posunutí cívek na výkonu spotřebiče



obr. 5.6: Graf závislosti vstupní frekvence na výkonu spotřebiče

6 Zhodnocení dosažených výsledků.

Podle předpokladu s rostoucím výkonem na primární straně roste i výkon na sekundární straně. Tedy při malém vstupním proudu je výstupní proud mizivý a roste až při vstupní proudu větším než 300mA. Účinnost celé soustavy se nedostala nad 5%, ale i tak nám to dává cenné informace o bezdrátovém přenosu.

Měření posunu cívek ukázalo, že se cívky musí u sebe držet maximálně do vzdálenosti 4cm, protože pak již k přenosu energie téměř nedochází. Nejlepší je mít spotřebič položený přímo na nabíječce s minimální vrstvou izolace.

Závislost vstupní frekvence na výkonu spotřebiče bylo naměřeno pouze informativně, protože jak již bylo řečeno, tak tranzistory BD139 nejsou stavěny na vysoké frekvence, a proto toto měření dopadlo jinak, než mělo. Správně by mělo vyplynout, že výkon bude stále stoupat, nebo se zastaví na nějaké hodnotě a bude kolem ní kolísat. Musí se však použít vysokofrekvenční tranzistory, které jsou na tyto frekvence stavěné.

7 Seznam literatury

- [1] KEKULE,J.*Transformátor* [Online].14.9.2004,[cit 2012-1-17].
<http://elektross.gjn.cz/elektrina/el_proud/generace_proudu/generator/transformator.htm>
- [2] ŠRUBAŘ,M.*Bezdrátové nabíjení akumulátorů* [Online].28.12.2006,[cit 2012-1-17].
<<http://www.techblog.cz/technologie/bezdratove-nabijeni-akumulatoru.html>>
- [3] TECHTARGET.*wireless charging* [Online].3.2008,[cit 2012-1-17].
<<http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/wireless-charging> >
- [4] BABČANÍK,J.*Spínané zdroje* [Online].1.5.2007,[cit 2012-1-17].
<<http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/spinane-zdroje.html>>
- [5] OßMANN,Martin.*Malé měniče DC-DC.Měniče stejnosměrného napětí pod lupou*
- [6] VLČEK,J.*Měniče napětí a spínané zdroje - teoretická základna* [Online].30.7.2007,
[cit2012-1-17]. <<http://www.tzb-info.cz/4263-menice-napeti-a-spinane-zdroje-teoreticka-zakladna> >
- [7] *Měniče napětí* [Online].16.1.2012, [cit2012-1-17].
<http://cs.wikipedia.org/wiki/M%C4%9Bni%C4%8D_nap%C4%9Bt%C3%AD>
- [8] HNILICA,P.*Měniče napětí - střídače* [Online], [cit 2012-1-17].
<<http://www.deramax.cz/menice-napeti/t-115/>>
- [9] WAFFENSCHDT,Eberhard.Wireless Power for Mobile Device.Philips Research Europe.The Netherlands: Eindhoven
- [10] JIAN,Xiao Zhi, YU,Han Zhen.A Novel Wireless Charging System for Movable Telephone with Printed-circuit-board Windings of Different Structure and Shape Respectively.China: Sichuan University.Mechatronics Research Institute.2007
- [11] RAVAN,Pratic, KACPRZAK,Dariusz, HU,P. Aiguo. A Wireless Power Transfer System for Low Power Electronics Charging Applications. New Zealand, Auckland: University of Auckland. Department of Electrical and Computer Engineering. 2011
- [12] YOUNGANG,Gao, YUANMAO,Shen, YINLIANG,Diao. Design of Coil Structure Achieving Uniform Magnetic Field Distribution for Wireless Charging Platform. Beijing: School of Electronic Engineering. the Beijing University of Posts and Telecommunications

- [13] NORDIC SEMICONDUCTOR. *nRF9E5* [Online], [cit 2012-1-17].
<<http://www.nordicsemi.com/eng/Products/Sub-1-GHz-RF/nRF9E5>>
- [14] VÁCLAVÍK, R. *Bezdrátový modul pro pásma 433MHz a 868MHz* [Online].
[cit 2012-1-17]. <<http://www.nordicsemi.com/eng/Products/Sub-1-GHz-RF/nRF9E5>>
- [15] DOHNAL, Pavel. Model realtime řídicího systému. Praha: České vysoké učení v Praze. Fakulta elektrotechnická. Katedra řídicí techniky. 2005, 81. Zdeněk Šebek
- [16] *nRF24LE1* [Online]. [cit 2012-1-17]. <<http://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24LE1/%28language%29/eng-GB>>
- [17] Pandatron.cz. *Výpočet cívky* [Online]. [cit 2012-1-17].
<http://pandatron.cz/?209&vypocet_civek>
- [18] bc. SolarSKI, *Tiny Nabíječ NiMH* [Online]. [cit 2013-4-4].
<<http://www.solarSKIT.wz.cz/tinych.html>>
- [19] Chip, *Jak na baterie NiCd a NiMH* [Online]. [cit 2013-4-8].
<<http://www.cettra.cz/vysilacky-radiostanice/MOTOROLA/Baterie-NiCd,-NiMH-.../Jak-na-baterie/20>>
- [20] Kincl Z, *Akumulátory v praxi* [Online]. [cit 2013-4-8].
<<http://www.prcek.ic.cz/stranky/index.php?id=15>>
- [21] BATTEX, *Nabíjení hermetických NiMH Akumulátorů* [Online]. [cit 2013-4-8].
<<http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nabijeni-hermetickych-akumulatoru/nabijeni-hermetickych-nimh-akumulatoru>>

8 Seznam příloh

Příloha 1: Schéma nabíjecí stanice

Příloha 2: DPS nabíjecí stanice

Příloha 3: Schéma spotřebiče

Příloha 4: DPS spotřebiče

Přílohy pouze na CD:

Příloha 5: Program pro nabíjecí stanici

Příloha 6 Program pro spotřebič

Příloha 7: Osazovací plánec pro nabíjecí stanici

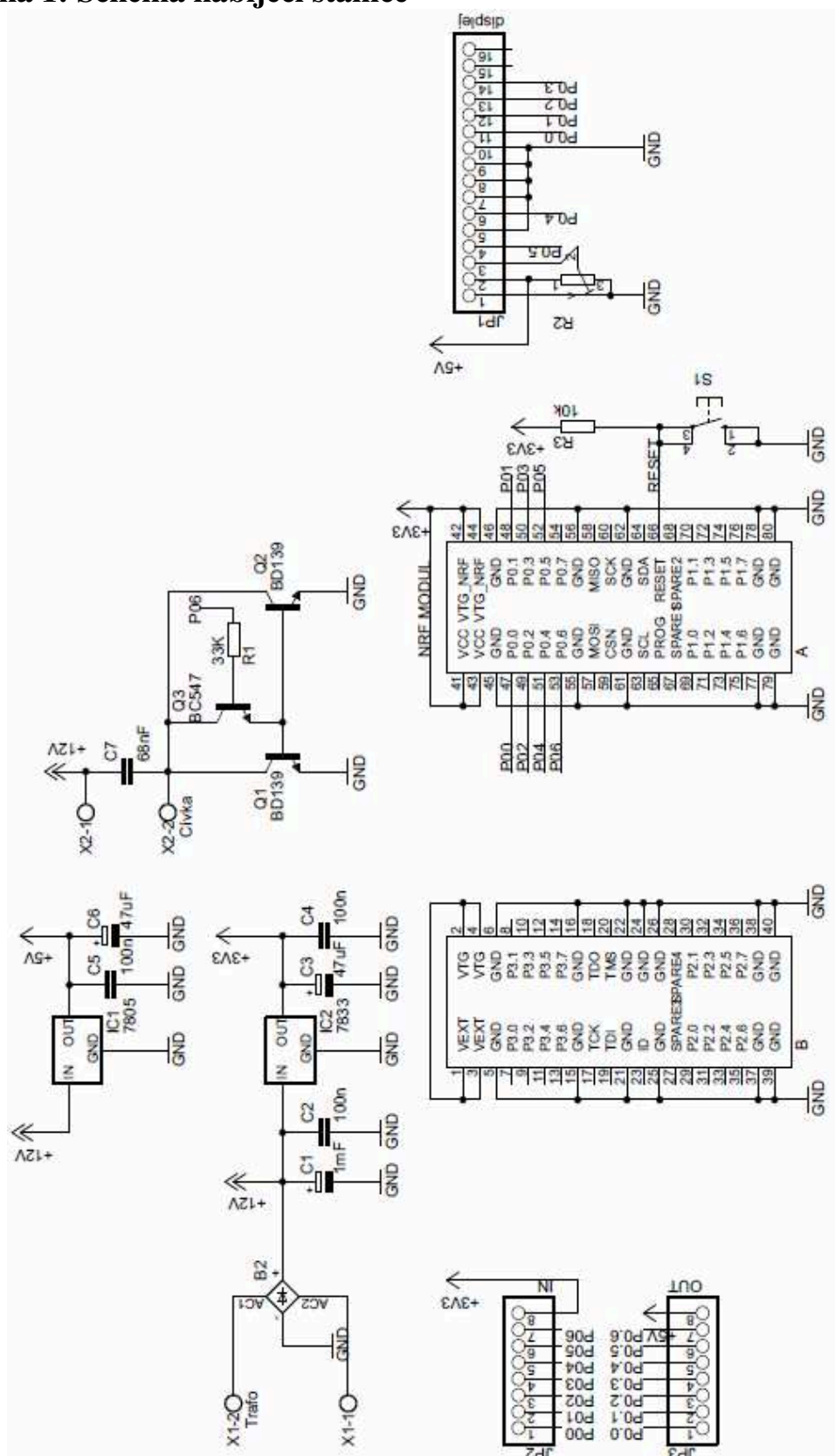
Příloha 8: Osazovací plánec pro spotřebič

Příloha 9: nRF24LE1_Product_Specification

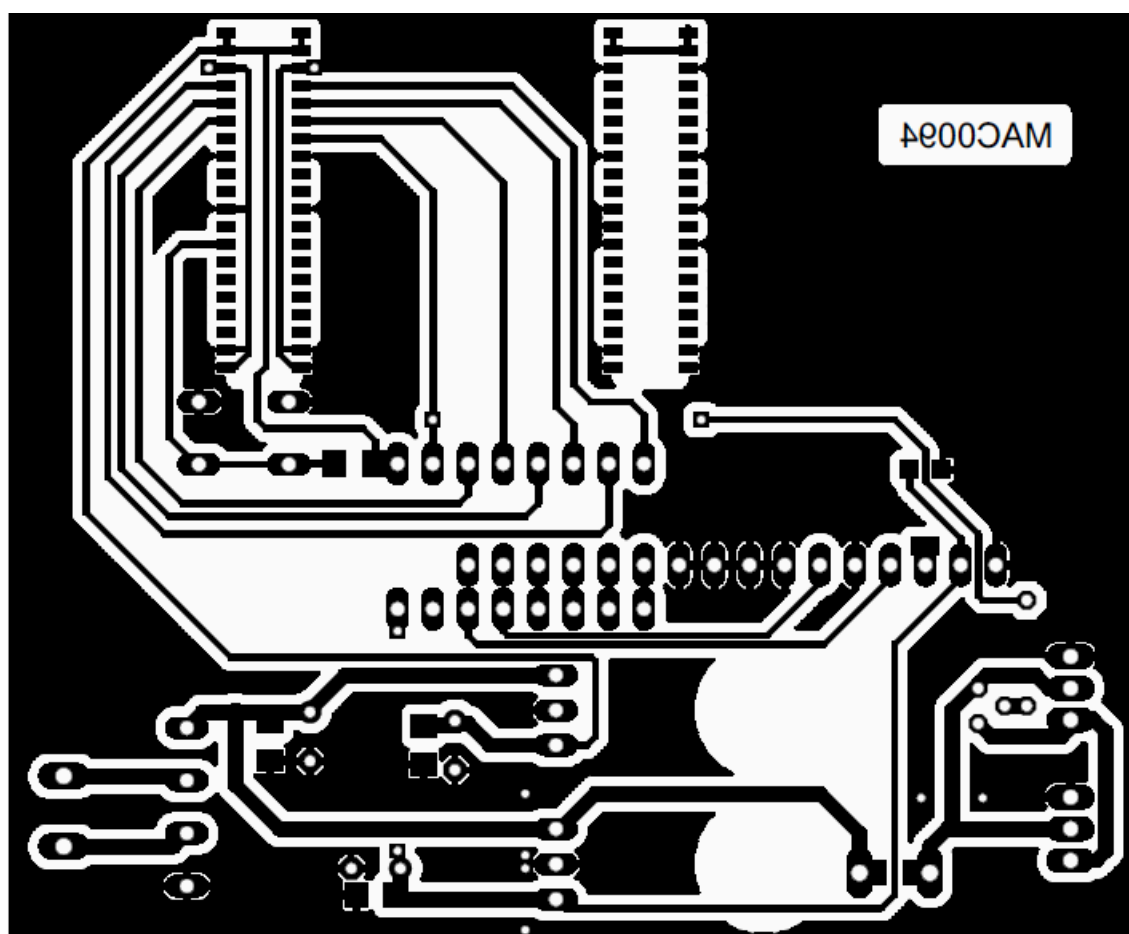
Příloha 10: Nastavení Programovacího Prostředí

Příloha 11: Naměřené hodnoty testovaných modulů

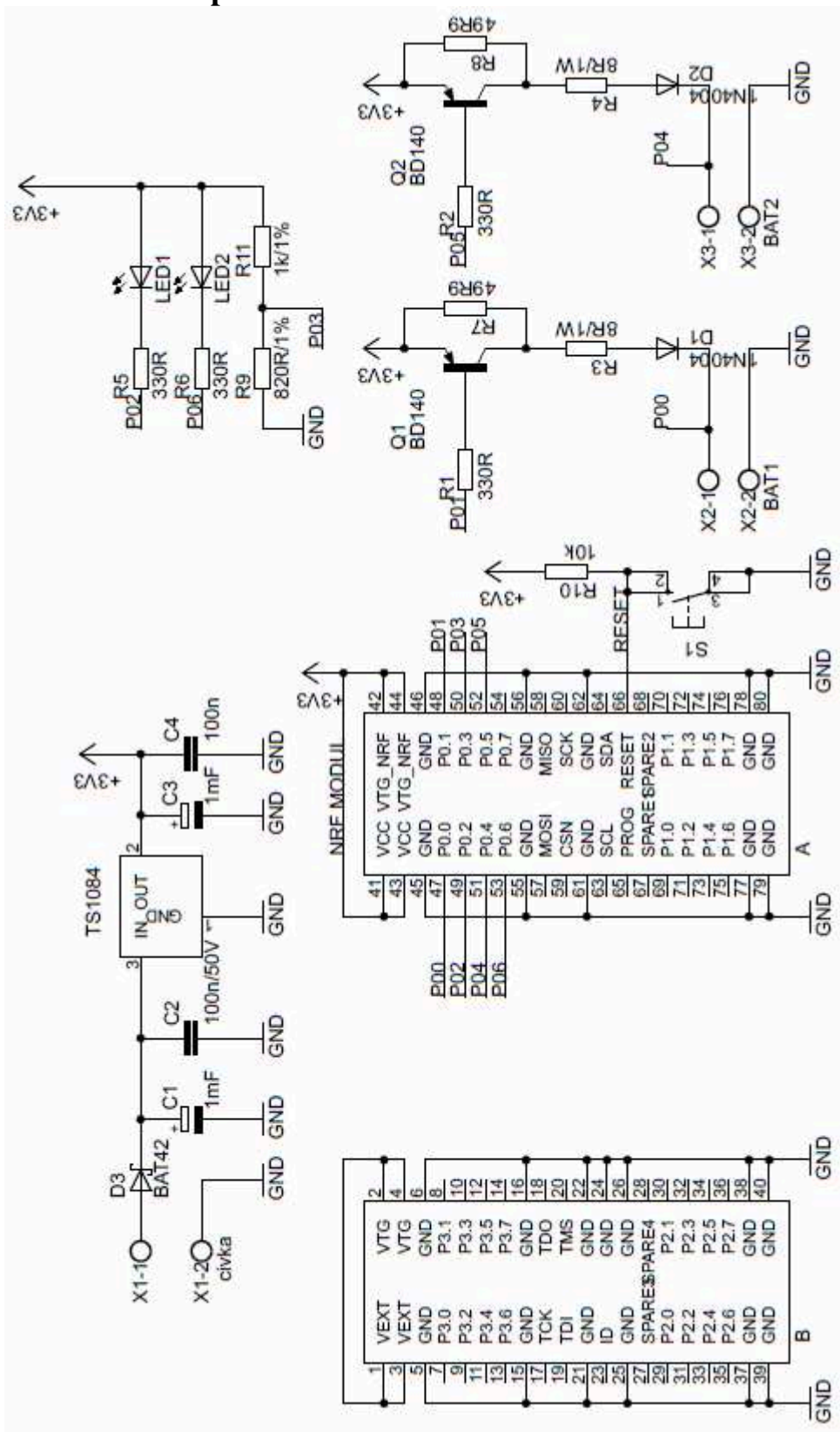
Příloha 1: Schéma nabíjecí stanice



Příloha 2: DPS nabíjecí stanice



Příloha 3: Schéma spotřebiče



Příloha 4: DPS spotřebiče

